UNIVERSITATEA DIN BUCUREŞTI

DEPARTAMENTUL DE ÎNVĂȚĂMÂNT DESCHIS LA DISTANȚĂ
CREDIS

Bogdan- Andrei MIHAI

TELEDETECȚIE

NOȚIUNI GENERALE



București
2008

UNIVERSITATEA DIN BUCUREŞTI

DEPARTAMENTUL DE ÎNVĂȚĂMÂNT DESCHIS LA DISTANȚĂ
CREDIS

Bogdan- Andrei MIHAI

TELEDETECȚIE

NOȚIUNI GENERALE

Bucureşti
2008

Culegere computerizată: Conf. dr. Bogdan Mihai, stud. Daniela Lazăr, stud. Adriana Gicariu, stud. Georgiana Pavel.

Tehnoredactare computerizata: Conf. dr. Bogdan Mihai, lect.drd. Ionuț Săvulescu.

CUPRINS

TEMA 1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Conținut

- Noțiuni introductive privind domeniul.

Obiective

- Înțelegerea sensului unor noțiuni de bază (teledetecție, aerofotointerpretare, fotogrammetrie).
- Cunoaşterea aplicațiilor teledetecției în geografie şi în ştiința mediului, în general.
- Cunoaşterea unor repere evolutive ale acestui domeniu.

1. Definiții

Termenul de ***„teledetecție"*** provine inițial din limba engleză (de la engl. *Remote sensing* ce semnifică *detectare de la distanță, de la depărtare)* şi a fost introdus prima dată în literatura, în Statele Unite ale Americii, la mijlocul anilor 50, în cadrul documentațiilor Administrației Americane a Oceanelor (în prezent NOAA sau Administrația Oceanelor şi Atmosferei). Autorul acestei definiții este cercetătoare E. Pruitt. În limba română, termenul a pătruns prin traducerea în franceză (fr. teledetection).

Cele mai simple aplicații de teledetecție sunt legate de pildă, de sesizarea vizuală, de către om a unui obiect, prin localizarea lui în spațiu, natura şi caracteristicile lui fizice. Omul este un „ sistem de senzori de teledetecție'', capabil să sesizeze obiectele de la distanță cu ajutorul analizorului vizual (imagini) sau al senzorilor din piele (căldura corpurilor).

TELEDETECȚIA este domeniul tehnic care se ocupă cu detectarea, masurarea, înregistrarea şi vizualizarea sub formă de imagini , a radiațiilor electromagnetice, emise de obiecte şi fenomene de pe Pământ sau din Univers, *de la distanță , fără a avea contact direct cu acestea*. Partea finală a definiției este menită să precizeze cel mai bine sensul acestu domeniu tehnic. Figura 1, prezintă cel mai simplu această caracteristică.

Teledetecția nu este o ştiință, ci un ansamblu de aplicații ale fizicii şi ingineriei, destinate obținerii de imagini. Finalitatea acestui domeniu al tehnicii este imaginea de teledetecție, obținută prin diverse mijloace.

Teledetecția nu este o ramură a geografiei, dar oferă acesteia, la nivelul aplicațiilor fiecărei ramuri (geomorfologie, hidrologie, biogeografie, geografie umană etc.), o sursă de informații de mare valoare. Caracterul obiectiv al imaginilor de teledetecție, depăşeşte cu mult ceea ce oferă harta sau planul în cercetarea mediului.

Teledetecția, indiferent de natura aplicațiilor, pasivă sau activă foloseşte radiațiile electromagnetice pentru a obține imaginile corpurilor, de la altitudine, din avion, satelit, balon, elicopter, deoarece în acest mod, imaginea se poate utiliza în obținerea de hărți şi planuri, iar interpretarea obiectelor este optimă.

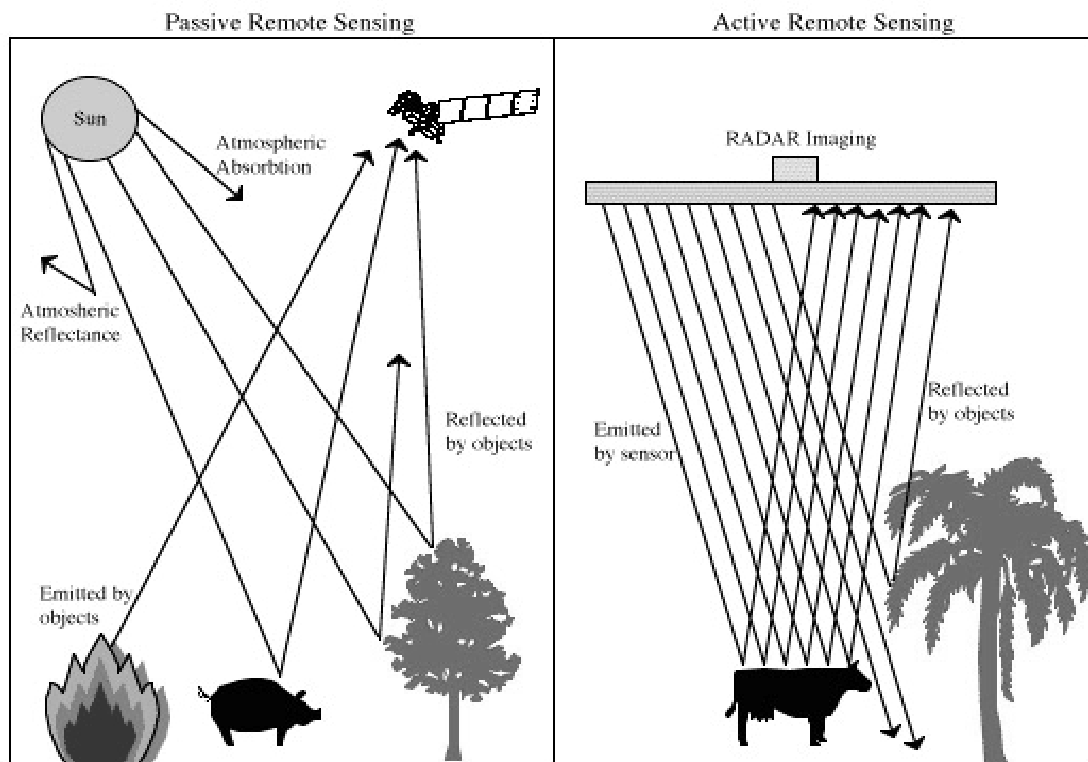


Fig. 1. Definiția teledetecției, bazată pe captarea radiațiilor emise de corpuri prin metode pasive (stânga) şi active (sistemul RADAR, ce emite microunde, dreapta). Sursa Universitatea din Omaha, Nebraska, SUA.

Geografia, ştiința mediului, în general, utilizează asemeni geologiei, silviculturii, oceanografiei, arheologiei etc., imaginile de teledetecție ca surse de informații obiective. Metoda ce are ca scop extragerea de informații din imaginile satelitare (realizate cu sisteme montate pe sateliți de teledetecție) şi aeriene (numite şi aerofotograme) se numeşte şi aerofotointerpretare.

AEROFOTOINTERPRETAREA GEOGRAFICĂ reprezinta o metodă de cercetare, specifică geografiei, dar aplicată şi în alte ştiințe, care utilizează, imaginile de teledetecție, prin examinare sau analiză calitativă şi cantitativă, în diferite aplicații, legate de mediul geografic şi componentele acestuia (naturale, antropice).

Scopul aplicării acestei metode îl constituie culegerea de informații, despre obiectele şi fenomenele din teren, concretizate în final, în hărți generale (ex. topografice) şi tematice (ex. harta vegetației şi a utilizării terenurilor, figura 2), planuri, schițe, tabele, grafice şi documentații, ce însoțesc diferitele studii de specialitate.

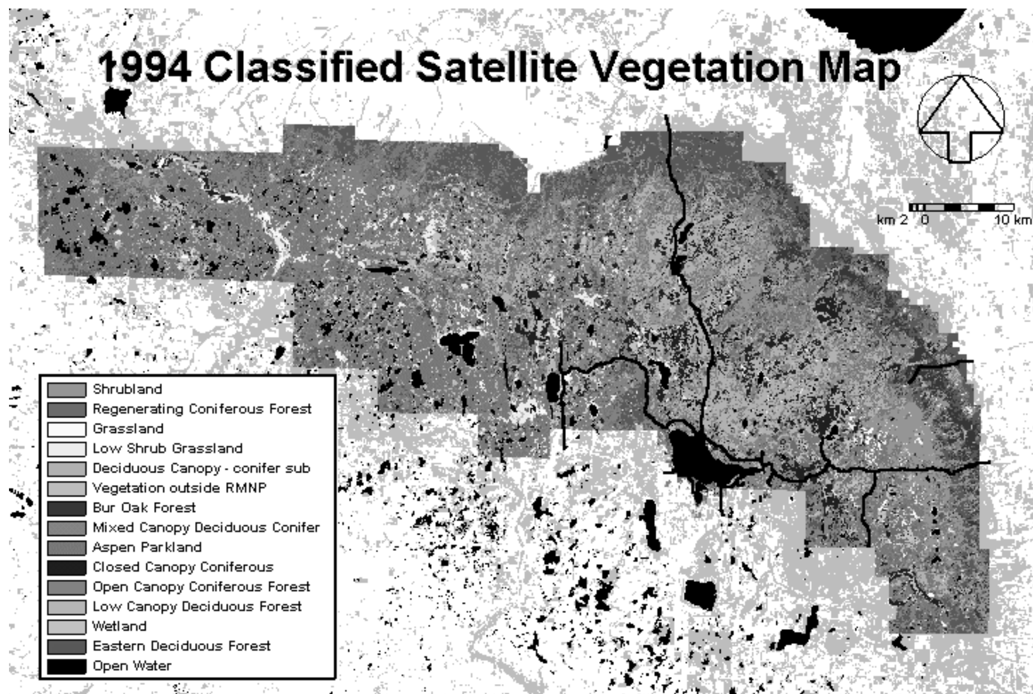


Fig. 2. Hartă a vegetației dintr-un parc național din SUA, întocmită pe baza imaginilor satelitare prin clasificarea pixelilor.

Aerofotointerpretarea geografică realizează legătura dintre teledetecție şi geografie. Aceasta exploatează imaginile şi are ca rezultat informații noi cu localizare spațială. Este aplicată în toate ramurile geografiei şi oferă un avantaj condiderabil în colectarea rapidă a informațiilor, localizarea exactă a obiectelor (ex. case, drumuri), în actualizarea hărților şi a diferitelor date auxiliare etc. Metoda are o largă aplicabilitate în cercetarea regiunilor întinse şi mai ales a celor greu accesibile şi fragmentate (ghețari, creste alpine, păduri ecuatoriale, deşerturi etc.).

Metoda a apărut în perioada interbelică, în anii 30, în Germania şi Franța, unde din anii 60 apare şi o publicație cu această titulatură. Din anii 50 există un institut specializat, în Olanda.

FOTOGRAMMETRIA, termen frecvent utilizat şi în geografie (apărut în secolul 19, la 1864, în Germania) este un domeniu tehnic sau o metodă ce utilizează imaginile de teledetecție în scopul *elaborării de hărți şi planuri topografice sau tematice*, pe baza măsurătorilor precise ale obiectelor care apar în imagini şi a reprezentării precise a acestor acestora, la scară, pe hârtie (format analogic) sau în formatul digital. Este principala metodă prin care sunt întocmite în prezent planuri şi hărți topografice, cadastrale etc. şi a trecut la sfîrşitul anilor 80 de la un aparat matematic complex şi procedee analitice (fotogrammetria analitică) la aplicații în mediu digital (fotogrammetria digitală, vezi figura 3).

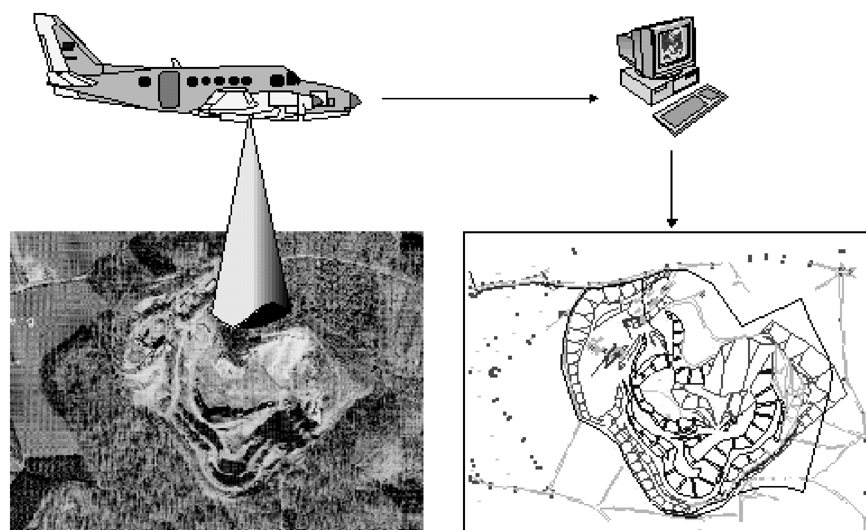


Fig. 3. Elaborarea unui plan topografic al unei cariere prin fotogrammetrie digitală, pe baza imaginilor aeriene.

REPERE ISTORICE. Primele imagini de teledetecție au fost fotografiile. Până la apariția primilor senzori satelitari, a sistemelor nefotografice, singurele înregistrări utilizate au fost fotografiile realizate din baloane şi apoi din avioane.

Fotografia este o invenție din anul 1839, ce apartine celor doi francezi, J. Daguerre si N. Niépcé. Odată cu brevetarea acestei invenții, a început apariția şi diversificarea aplicațiilor teledetecției. Prezentăm mai jos câteva repere mai semnificative.

- în 1864 apare fotogrammetria, în Germania, inventată de Meydenbauer ce foloseste fotografiile terestre pentru măsurători, utilizate în special în realizarea planurilor pentru construcții.
- în 1858 sunt realizate primele fotografii din balon, în Franța, lângă Paris de catre un fotograf şi artist plastic, G. F. Tournachon, având pseudonimul Nadar. Tot în 1858 prima se realizează o imagine aeriana aproape verticala din balon, asupra orasului Boston.
- în 1888, în Austria, Th. Scheimpflug foloseşte fotografiile stereoscopice obținute cu un dirijabil şi pune bazele fotogrammetriei aeriene.
- în 1909 este realizată prima fotografie din avion, la Centocelle, în Italia, de către unul dintre frații Wright, unul dintre inventatorii avionului (din 1903), împreuna cu un ofiter italian.
- în 1904 este realizată prima fotografie aeriană, folosind o rachetă,de către suedezul Maul.
- în 1911 este realizată prima fotografie din avion din România, la Bucuresti, de către Aurel Vlaicu.

- un moment important îl constituie perioada celor doua Războaie Mondiale, care au însemnat foarte mult pentru fotografia aeriana (aplicații strategice, cu arhive de fotograme verticale păstrate pînă în prezent)..
- perioada interbelică, şi mai ales anii 30, este caracterizată prin apariția primelor aplicatii civile ale fotografiilor aeriene. La mijlocului anilor 30, la Berlin (1935) s-au reunit în cadrul unui congres, geografii interesati în utilizarea fotografiilor aeriene în cercetările lor.
- dupa 1919, şi în Romania, fotografierea aeriană devine şi ea de interes civil (primele aplicații sunt legate de dezvoltarea oraşelor).În anul 1930, în România apare un prim articol de popularizare a fotografiei aeriene in geografie.
- *După Al Doilea Război Mondial*, este etapa in care apar primele imagini de teledetecție satelitară, folosind alte tehnici decât fotografierea aeriana.
- în 1948 se realizează prima fotografie extraatmosferică a Pământului , de pe racheta V2, în New Mexico, SUA.
- în 1957 este lansat primul satelit artificial, în URSS, ceea ce va deschide era cosmică.
- în 1960 este plasat pe orbită, primul satelit meteorologic, TIROS 1, în SUA, continuat de sateliții NIMBUS şi NOAA. Se realizează şi hărți sinoptice satelitare.
- în 1962 se realizează o fotografie preluată de pe orbită de cosmonautul sovietic Titov.
- în 1968 misiunea Apollo 11, realizează experimental imagini multispectrale.
- în 1972 se lansează cu succes satelitul de teledetecție ERTS A, SUA, ce va deschide misiunea de teledetecție LANDSAT, cea mai longevivă misiune axată exclusiv pe obținerea de imagini satelitare de medie rezoluție spațială (15, 30, 60, 120 m etc.). Până în prezent s-au plasat pe orbită şase sateliți, ce au oferit o arhivă impresionată de milioane de imagini (fig. 4).

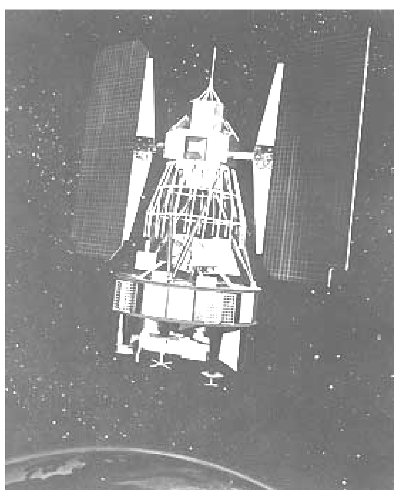


Fig. 4. Satelitul ERTS A, ce a deschis misiunea Landsat în 1972 (după USGS).

- în anii 80 şi 90, sunt iniţiate şi alte misiuni de teledetecţie orientate către imagini de medie rezoluţie spaţială, ca de pildă SPOT lansat de ESA şi mai ales de Franţa (din 1986), IRS din India (din 1988), JERS din Japonia (din 1992), Radarsat din Canada (1996) etc.
- în 1999, pe lângă lansarea ultimului satelit Landsat, este iniţiată misiunea IKONOS, de către SUA, prima aplicaţie comercială cu imagini de mare rezoluţie spaţială (4 m, 1 m), urmată în 2001 de misiunea QuickBird, cu imagini la rezoluţii de 0,65 şi 2,5 m.
- aplicaţii legate de mediu sunt misiunile TERRA din SUA-Japonia din 1999 şi ENVISAT, ESA, din 2002.
- în România, din 1992 funcţionează CRUTA, centru specializat în aplicaţii ale imaginilor în agricultură, ce continuă pe o nouă treaptă proiectele începute după 1960 în cadrul fostului IGFCOT, şi se înfiinţează Agenţia Spaţială Română din 1995, ce va promova aplicaţii ale teledetecţiei în cercetarea mediului, a riscurilor naturale, a resurselor etc.

Întrebări de autoevaluare

- Ce este teledetecţia şi care este legătura ei cu geografia?
- Care este importanţa aerofotointerpretării în cercetările geografice.
- Precizaţi cel puţin patru momente de referinţă în dezvoltarea domeniului teledetecţiei.

Tema de control (referat)

Importanţa imaginilor satelitare pentru cercetarea mediului terestru.

TEMA 2. RADIAȚII ELECTROMAGNETICE ŞI ROLUL LOR ÎN TELEDETECȚIE.

Conținut

- Noțiunile de radiații şi spectru electromagnetic.
- Comportamentul radiațiilor în atmosferă şi aplicațiile de teledetecție.

Obiective

- Înțelegerea sensului unor noțiuni (radiații, spectru, fereastră atmosferică).
- Cunoaşterea radiațiilor cu rol important în obținerea de imagini.
- Cunoaşterea limitărilor impuse de atmosferă în preluarea de imagini.

RADIAȚII ELECTROMAGNETICE

Radiațiile electromagnetice reprezintă o formă de manifestare a materiei, concretizată în emisii energetice, care pot fi detectate, măsurate şi chiar înregistrate, folosind diferite instrumente, în anumite condiții.

Radiațiile mai precis, o parte a acestora pot fi şi generate cu ajutorul unor sisteme speciale, în laboratoare, în diferite scopuri.

Orice obiect din natură emite radiații, indiferent de proprietățile lui fizice, chimice şi biologice.

În natură, radiațiile se diferențiază în funcție de caracteristicile lor energetice, de lungimea lor de unda , frecventa si modul de propagare. Lungimea de undă (λ) este elementul cel mai important pentru teledetecție, aceasta fiind rezultatul raportului dintre viteza de propagare (c sau viteza luminii în vid) şi frecvență (ν):

$$\lambda = c / \nu$$

Comportamentul radiațiilor. Orice corp din natura emite radiații în funcție de proprietățile sale fizice sau chimice. Emisiile de radiatie ale corpurilor nu sunt identice, deoarece acestea sunt legate de individualitatea fiecarui corp.

Două corpuri din natură (ex. un copac înverzit emite radiație în infraroşu şi o casă emite radiație în vizibil, zonele verde şi roşu) emit radiații cu lungimi de undă diferite, fapt ce permite identificarea lor. Corpurile din natură pot fi identificate pe baza emisiilor de radiații. Radiațiile electromagnetice au un comportament diferențiat, ce se defineşte prin patru forme:

- *Transmisia sau propagarea* radiațiilor este penetrarea unui mediu de catre radiațiile electro-magnetice (trecerea radiatiilor printr-un mediu oarecare), fără a suferi modificări substanțiale (ex. trecerea radiației solare directe, din zona infraroşului termal prin atmosferă).

- *Reflexia* se produce atunci când radiația se întoarce din mediul de unde a venit, sub un unghi egal, cu cel de incidență, numit şi unghi de reflexie (ex. radiația vizibilă la contactul cu un teren calcaros sau cu o construcție de culoare albă din zona mediteraneană).
- *Difuzia* reprezintă risipirea radiațiilor la contactul cu un mediu (ex. lumina solară la trecerea prin norii compacți).
- *Absorbția* este datorată pierderii radiațiilor intr-un mediu (ex. radiația solară ultravioletă absorbită de stratul de ozon).

Surse de radiații în teledetecție sunt diversificate şi au un rol diferit în obținerea de imagini de teledetecție:

- Soarele - este cea mai importanta sursă, mai ales pentru teledetecția pasivă, cu senzor optic (ex. fotografierea aeriană). Soarele emite radiatie luminoasă şi calorică, datorită reacțiilor de fuziune nucleară, prin care hidrogenul devine heliu.
- Pământul emite radiațiile Gamma la nivelul nucleului radioactiv, care nu au aplicații în teledetecție. Obiectele de pe suprafața terestră, diferitele medii ca apa oceanelor, vegetația, culturile agricole sau construcțiile care se află pe suprafața terestră intră în contact cu radiația solara şi emit diferite radiații.
- Radiațiile emise artificial, sunt: microundele, emise cu ajutorul radarului; lumina polarizată sau laserul, undele sonore (pentru ecosondă).

Spectrul radiațiilor electromagnetice

Este o reprezentare schematică, un model fizic, ce prezintă radiațiile electromagnetice cunoscute şi măsurate, în funcție de lungimea lor de undă şi nivelul energetic specific (fig.5).

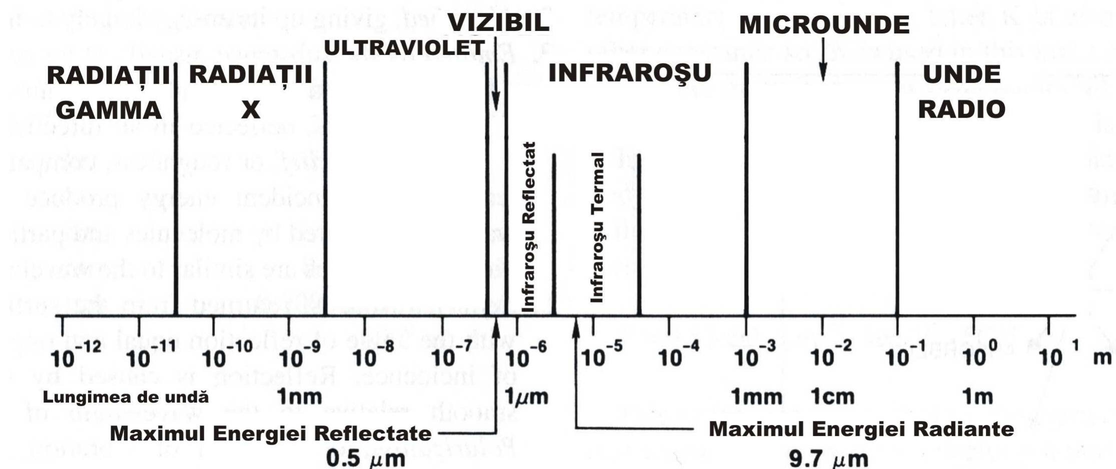


Fig. 5. Spectrul electromagnetic. Reprezentare schematică.

Spectrul prezintă o serie de zone, în care radiația electromagnetică este delimitată pe baza lungimii de undă. Aplicațiile de teledetecție se limitează la producerea de imagini, imposibilă în anumite zone spectrale.

- Radiațiile Gamma (γ), având sub 0,1 nm, sunt emise de nucleul Pământului şi nu se folosesc în teledetecție.
- Radiatiile X, cu lungimi de undă cuprinse între 0,1 nm şi 1 nm, pot fi generate artificial, dar nu se folosesc în teledetecție, fiind importante în medicină.
- Radiațiile ultraviolete sau UV, sunt absorbite de în mare măsură la nivelul stratului de ozon atmosferic şi nu se pot folosi în teledetecție. O excepție o constituie radiațiile ultraviolete UV fotografic, cu lungimi de undă între 300 şi 400 nm, la limita cu spectrul vizibil. Ele se pot înregistra sub formă de imagini cu filme sau senzori speciali..
- Spectrul vizibil, cuprins între intre 400 şi 700 nm. În această zonă a spectrului se formează imaginile pe care le percepe omul. Este deosebit de important pentru teledetecție (obținerea fotografiilor aeriene color normale sau a imaginilor multispectrale în culori naturale). Zona spectrului vizibil este divizată în trei interval : albastru: 400-500 nm, verde 500-600 nm, roşu 600-700 nm.
- Infraroşul sau IR, între 700 nm şi 0,1 cm. Sunt foarte importante în teledetecție, deşi nu sunt vizibile. Radiațiile permit obținerea de imagini cu senzori optici (infraroşul reflectat) şi termici (infraroşul termal cu două zone, figura 6). O serie de componente de mediu, ca de pildă copacii înverziți sau argila reflectă radiații luminoase infraroşii. Corpurile calde emit radiații infraroşii sub forma radiațiilor calorice (ex. asfaltul drumurilor în timpul verii). Pot penetra formațiunile noroase.
- Microundele cu peste 0,1 cm, sunt folosite pentru aplicațiile radar de teledetecție activă şi se propagă în bune condiții prin diverse medii. Imaginile rezultate au aplicații largi în modelarea digital a reliefului.
- Undele radio, cu lungimi de undă de peste 100 cm, nu permit obținerea de iamgini dar sunt folosite în transmiterea de la sateliți la sol a semnalelor ce vor fi convertite în imagini.

Dintre aceste interval, doar zonele cuprinse între 300 nm şi 100 cm sunt importante în teledetecție, dar, şi acestea, numai parțial, în condițiile problemelor de propagare prin atmosferă.

Propagarea radiațiilor în atmosferă.

Atmosfera este un mediu gazos eterogen, un amestec de gaze care conține şi particule solide. Atmosfera terestră nu este traversată la fel de către toate radiațiile electromagnetice. O mare parte din radiații îsi pierd proprietățile inițiale, suferind diferite transformări, legate de refracție, reflexie, difuzie sau absorbție.

În teledetectie, radiația electromagnetică strabate atmosfera de două ori, ca *radiație incidentă*, de la Soare către obiect şi in calitate de radiație reflectată, de la obiect către senzorul de teledetecție de pe avion sau satelit.

Pentru a defini comportamentul atmosferic al radiațiilor, se folosesc două noțiuni.

Rata de transmisie atmosferică, reprezintă procentul în care radiația cu o anumită lungime de undă penetrează atmosfera terestră pe toată înălțimea acesteia (fig. 6).

Fereastra atmosferică (engl. atmospheric window) constituie un interval de lungime de undă caracteristic radiațiilor din spectrul electromagnetic, care poate trece prin atmosferă în anumite condiții. Aceasta se poate defini ca intervalul de lungimi de undă, în limitele căruia rata de transmitere atmosferică este aproape de 100%. Aceste noțiuni sunt reprezentate grafic în figura 6.

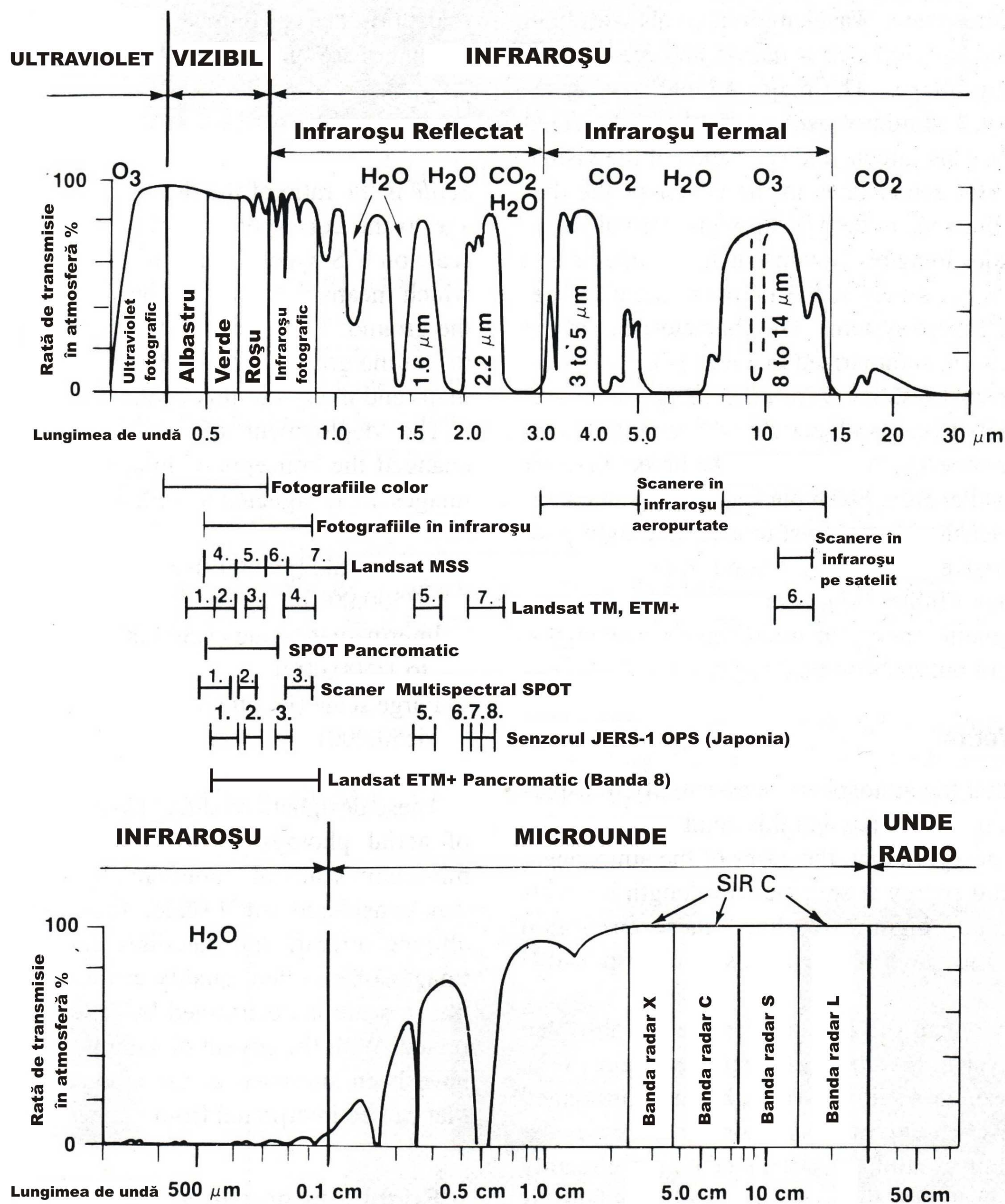


Fig. 6. Comportamentul atmosferic al radiațiilor electromagnetice şi aplicații de teledetecție (după Sabins, 1997).

Din graficul prezentat mai sus, se observă o parte a spectrului radiațiilor cu cele mai numeroase aplicații în teledetecția pasivă. Ferestrele atmosferice sunt evidente prin vârfurile curbei ce semnifică rata de transmisie atmosferică, în timp ce pauzele sunt

prezente în condițiile absorbției radiațiilor de către unele componente ale atmosferei (ex. ozonul pentru ultraviolete sau unele radiații calorice, vapori de apă pentru unele radiații infraroşii etc.). Ratele cele mai mari de transmisie coresopund UV fotografic, dar mai ales radiațiilor vizibilului şi parțial pe intervale, infraroşului sau microundelor.

Aplicațiile teledetecției utilizează astfel ferestrele atmosferice, deoarece radiația electromagnetică tranzitează de două ori atmosfera şi trebuie să ajungă cât mai puțin alterată la senzori, mai ales în cazul celor satelitari plasați pe orbite ce depăşesc limita atmosferei, la 400 km la Ikonos, 700-900 km la Landsat (din diferite generații) şi chiar 36000 km la sateliți meteorologici geostaționari.

Întrebări de autoevaluare

- Explicați care sunt cele mai utile radiații folosite în teledetecție.
- Cum se comportă radiațiile la traversarea atmosferei terestre ?
- Ce sunt ferestrele atmosferice şi cum se folosesc în aplicațiile de teledetecție.

Tema de control (referat)

Clasificați pe baza informațiilor de pe site-urile internet, aplicațiile de teledetecție în funcție de radiațiile folosite şi scopul lor aplicativ.

TEMA 3. PRINCIPIILE TELEDETECȚIEI PASIVE.

Conținut

- Moduri de obținere a imaginilor de teledetecție.
- Noțiunea de teledetecție pasivă.
- Televiziunea satelitară.
- Scanarea multispectrală.
- Radiometria.
- Scanarea termică.

Obiective

- Cunoaşterea şi înțelegerea principiilor pasive ale teledetecției.
- Cunoaşterea specificului imaginilor rezultate şi a unor aplicații ale acestora în cercetarea mediului geografic.

Imaginile de teledetecție se obțin prin diferite mijloace. Acestea se constituie în principii, în tehnici speciale ce utilizează radiațiile electromagnetice, prin captarea, măsurarea şi înregistrarea lor, în scopul producerii de imagini. Cel mai vechi principiu este *fotografierea aeriană sau aerofotografierea*, ce a fost aproape un secol, singura modalitate de obținere a imaginilor de teledetecție. Din această cauză acesta este definit drept un *procedeu convențional* în aplicațiile de teledetecție. După 1960, mai ales sunt utilizate şi alte procedee, bazate pe senzori diferiți de camera fotografică aeriană, numiți şi *nefotografici sau neconvenționali*. Aceştia sunt aplicații complexe ale fizicii şi mai ales ale opticii, mecanicii de mare precizie, termodinamicii, electronicii, radiocomunicațiilor etc. Aplicațiile de teledetecție sau principiile acesteia se pot clasifica după:

a. Proveniența radiațiilor electromagnetice
   Principii pasive
   Principii active
b. Modalitatea obținerii imaginilor
   Principii convenționale sau fotografice (aerofotografierea)
   Principii neconvenționale sau nefotografice

Principiile teledetecției pasive

Presupun înregistrarea de imagini de la distanță ale obiectelor şi fenomenelor de pe suprafața terestră (fig. 7), utilizând exclusiv radiațiile electromagnetice emise de acestea. Aceste principii presupun exclusiv înregistrarea radiațiilor emise de către obiecte şi fenomene, ca de pildă înregistrarea radiației solare reflectate de către corpuri (teledetecția cu senzor optic) sau a radiațiilor calorice din zona infraroşului termal (teledetecția prin scanare termică).

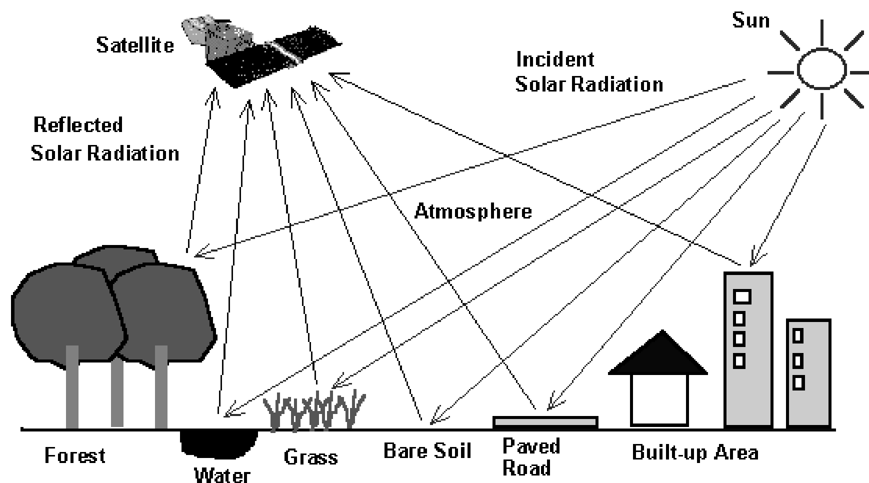


Fig. 7. Aplicație de teledetecție pasivă a satelitului SPOT, axată pe captarea radiațiilor solare reflectate de diferitele elemente ale mediului geografic.

În practică se folosesc patru principii pasive de obținere a imaginilor nefotografice.

- principiul televiziunii satelitare,
- principiul scanării multispectrale,
- principiul radiometriei,
- principiul scanării termice.

1. Principiul televiziunii satelitare

Foloseşte ca senzori camerele de televiziune de construcție specială (engl. vidicon), care captează şi înregistrează de la distanță, radiațiile luminoase emise de către corpuri, în mod selectiv, în mai multe intervale ale spectrului radiațiilor.

Televiziunea se bazează pe conversia radiațiilor luminoase în imagini vizualizate pe tuburi catodice şi care pot fi transmise prin diferite mijloace la distanță. Camera de televiziune primeşte radiația luminoasă pe care o transformă în curenți electrici, proiectați apoi sub formă de fascicule de electroni pe ecranul unui tub catodic. Imaginea rezultă din combinarea punctelor luminoase şi întunecate de pe ecran şi, deşi este neunitară din punct de vedere tehnic, este percepută de către ochiul uman ca unitară, datorită inerției acestuia.

Imaginea de televiziune satelitară trebuie să aibă o rezoluție mult mai mare decât cea de televiziune comercială (fig. 8), deoarece este necesară identificarea cât mai multor detalii din teren. Diferența de rezoluție între imaginea comercială de televiziune şi cea de teledetecție prin televiziune este de peste 10 ori. Astfel imaginea TV comercială cuprinde 500-800 de linii iar cea satelitară are mai mult de 4500 de linii.



Fig. 8. Imagine RBV, în infraroşu apropiat, obținută cu ajutorul unei camera de televiziune a sistemului de la bordul unui satelit Landsat, deasupra unui sector de la sud de New York, pe coasta atlantică a SUA.

Teledetecția satelitară prin televiziune utilizează sisteme de mai multe camere speciale, mobile în raport cu direcția de zbor orbital, care pot înregistra simultan aceeași imagine în mai multe benzi sau intervale spectrale. Înregistrarea imaginilor prin televiziune se poate realiza în două moduri: *imagine-cadru*, când imaginea în care punctele şi liniile ce o compun sunt înregistrate simultan şi rezultă o imagine relativ unitară, şi prin *baleiere,* când înregistrarea imaginii se face punct cu punct şi linie cu linie.

Imaginile rezultate prin principiul televiziunii satelitare sunt imagini alb-negru diferite sub raport spectral deoarece ele sunt complementare la nivelul lungimilor de undă. Aplicația a fost folosită la sateliții meteorologici sovietici şi americani, la unele stații spațiale din anii 60 şi 70 (experimental) şi s-a consacrat la primele trei misiuni din programul Landsat, numite ERTS A, B şi C. Acestea au folosit sistemul de camere RBV (Return Beam Vidicon) în trei şi mai târziu în cinci intervale spectrale din vizibil şi infraroşu. Sistemul a fost abandonat, la următorii sateliți, datorită problemelor tehnice destul de frecvente.

2. *Principiul scanării multispectrale*

Este unul dintre cele mai folosite principii pentru că obține imagini de bună calitate la nivelul rezoluției spectrale şi spațiale. Principiul, perfecționat în ultimele trei decenii, se bazează pe faptul că în natură orice obiect sau fenomen emite radiații electromagnetice, în funcție de proprietățile fizice şi chimice, prin intermediul cărora acestea pot fi înregistrate, descrise şi analizate.

Aceste aplicații presupun cunoaşterea exactă, din cercetări de laborator a radiațiilor electromagnetice emise de diferite corpuri sau medii în vederea proiectării, construirii şi utilizării unor senzori speciali, în vederea înregistrării radiațiilor sub formă de imagine.

Scanarea multispectrală utilizează radiațiile luminoase cu diferite lungimi de undă emise de către corpurile de pe suprafața terestră. Aceste radiații sunt, de fapt, radiațiile solare reflectate de către obiecte. Imaginile obținute prin acest principiu sunt numite multispectrale şi sunt reprezentate prin mai multe înregistrări ce corespund câte unui interval spectral. Legate de acestea sunt noțiunile de bandă spectrală, respectiv scenă satelitară.

Banda spectrală reprezintă un interval din spectrul căreia îi corespunde o imagine în cazul unei înregistrări multispectrale. Înregistrarea imaginilor se realizează întotdeauna pe principiul baleierii, adică punct cu punct şi linie cu linie. Fiecărei benzi spectrale îi corespunde o imagine alb-negru, aşa cum se observă în fig. 9. Sistemele de scanare pot înregistra astfel mai multe benzi (ex. 4 pentru Landsat MSS, 7 pentru Landsat TM, 5 pentru SPOT 4, 5, Ikonos şi QuickBird etc.). În fig. 6 sunt evidențiate câteva aplicații în raport cu spectrul utilizat, prin segmente de dreaptă ce semnifică de fapt câte o bandă spectrală (ex. 8 benzi la satelitul japonez JERS cu senzor optic).

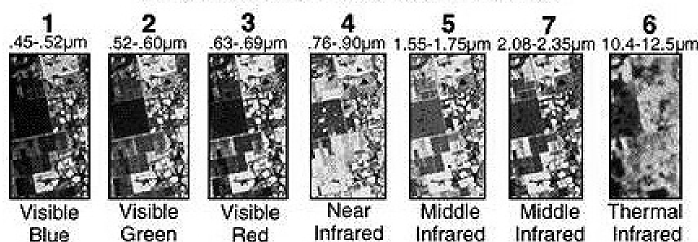


Fig. 9. Imagini multispectrale Landsat TM (după Short, 2006).

Scena satelitară (imaginea satelitară primară) reprezintă o suprafață limitată de teren cu dimensiuni bine precizate, de formă pătrată sau dreptunghiulară în limitele căreia se înregistrează o imagine în mai multe benzi spectrale, prin scanare multispectrală şi nu numai. Dimensiunile acesteia sunt bine calculate în funcție de acoperire spațială, rezoluție spațială, timp de scanare, corelat cu viteza satelitului (peste 11 km/s), altitudinea, viteza de rotație a Pământului cât şi poziția Soarelui pe boltă (ex. latura de185 km la Landsat, 60 km la SPOT 4, 10,4 km la Ikonos etc.) . Înregistrarea se realizează în timpul parcurgerii orbitelor ce au parametrii cunoscuți (fig. 10), de la altitudini de sute de km (400 km la Ikonos, peste 900 km la primii sateliți Landsat etc.) la ore exacte, la intervale de timp egale (ex. cca. 18 zile la ERTS A).

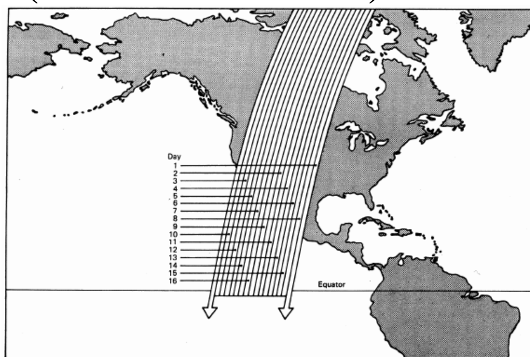


Fig. 10. Configurația unor orbite heliosincrone în planul polilor la sateliții Landsat (după NASA-GSFC).

Sistemul de scanare multispectrală, prezentat simplificat în figura 11, cuprinde o serie de componente ce au ca scop captarea, detectarea, înregistrarea şi transmiterea la staţiile de sol a imaginilor prin unde radio, în scopul obţinerii pe computer a imaginilor.

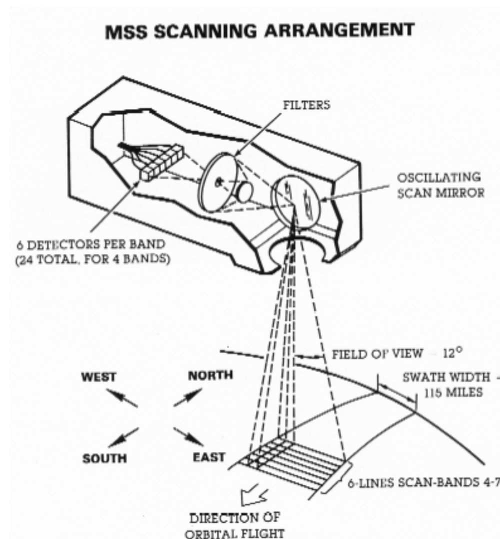


Fig. 11. Sistemul de scanare multispectrală Landsat MSS (după Short, 2006).

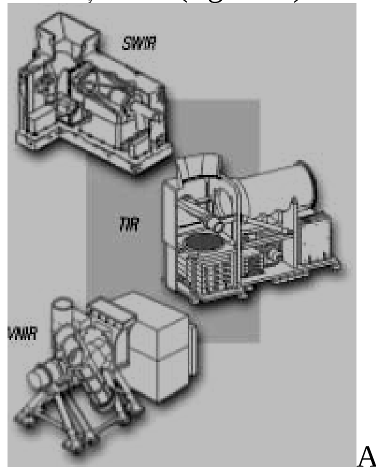
Radiaţiile luminoase reflectate de obiectele de pe Pământ sunt captate cu un sistem de oglinzi speciale, mobile, cu unghi mic de deschidere, prin baleiere sau scanare, mai exact prin explorare punct cu punct şi linie cu linie. Direcţia de scanare poate fi paralelă sa u perpendiculară faţă de traseul orbitei. Oglinzile oscilante captează lumina şi o trimit către filtre, unde este filtrată după lungimea de undă şi suferă o serie de conversii pentru a fi sesizată de sistemul cu detectori (6 pentru o bandă spectrală în fig. 10, la Landsat MSS). După detectarea selectivă, semnalul radio va fi trims la sol unde se obţin în staţiile specializate şi laboratoare imaginile punct cu punvct şi linie cu linie.

Sistemul a atins în prezent performanţe deosebit de mari, prin apariţia scanerului hiperspectral, ce poate detecta şi înregistra simultan un număr foarte mare de lungimi de undă în limitele unui mare număr de benzi spectrale (ex. scannerul AVIRIS în 224 de benzi spectrale).

Aplicaţiile imaginilor obţinute astfel sunt deosebit de diversificate şi au o mare utilitate socială (analiza vegetaţiei, a culturilor agricole, urbanism, investigarea excesului de umiditate, prospectare geologică etc.).

3. *Principiul radiometriei* se bazează, asemeni scanării multispectrale pe detectarea simultană şi selectivă a radiaţiilor electromagnetice emise de corpuri, în diferite zone ale spectrului, de la ultraviolet fotografic la vizibil, infraroşu reflectat şi chiar infraroşu termal. Sistemele de senzori sunt însă speciale şi se numesc radiometre. *Radiometrele* sunt sisteme complexe sau instrumente de teledetecţie pasivă (fig. 11 a) care măsoară radiaţiile electromagnetice emise de corpuri sau medii (apa mărilor, soluri, vegetaţie, roci etc.) prin compararea lungimii de undă specifică acestora cu lungimi de undă standard ale unor radiaţii generate artificial. Au fost utilizate la început la sateliţii meteorologici americani Nimbus.

Radiometria permite obținerea prin baleiere a unor imagini multispectrale, similare celor rezultate din scanarea multispectrală. Prin radiometrie rezultă simultan imagini în intervale mai înguste din spectrul electromagnetic, fapt deosebit de util în înregistrarea comportamentului spectral al obiectelor. Prin combinarea imaginilor radiometrice rezultă imagini fals-color în care culorile naturale au fost înlocuite cu alte culori numite şi culori convenționale (fig. 11 b).



A



B

Fig. 11. A. radiometrele sistemului ASTER de la bordul satelitului Terra, destinate măsurării intervalelor de lungimi de undă din vizibil-infraroşu apropiat (VNIR), infraroşului mijlociu (SWIR) şi infraroşului termal (TIR). B. imagine satelitară ASTER a vulcanului Villarica, Chile (falscolor în scara de gri). Sursa NASA-JPL.

Aplicațiile radiometriei satelitare sunt multiple : identificarea tipurilor de minerale şi roci utile, identificarea tipurilor de vegetație, a speciilor de plante, identificarea scoarțelor de alterare şi a solurilor, analiza şi cartografierea multitemporală a poluării apelor, aerului şi solului, obținerea de modele numerice altitudinale ale terenului (MNA) utile topografiei şi studiului dinamicii reliefului, pe baza proprietăților stereoscopice. Interpretarea imaginilor radiometrice implică o serie de dificultăți legate mai ales de corespondența culorilor. În acest scop se utilizează colecții de valori spectrale care

caracterizează diferitele elemente de mediu în vederea identificării acestora. Acestea se mai numescşi biblioteci spectrale (ex. biblioteca de signaturi de minerale a USGS).

4.*Principiul scanării termice*.

Utilizează lungimile de undă ale infraroşului termal în vederea obținerii de imagini ale potențialului caloric al obiectelor din teren. Imaginile în infraroşu termal se obțin în cazul oricărui corp cu o temperatură mai mare de 1ºK. Corpurile emit radiații calorice ce devin radiații luminoase atunci când ating starea de incandescență. Ferestrele atmosferice ce permit aceste aplicații sunt limitate la două intervale ale infraroşului termal (fig. 6), 3-5μ, respectiv 8-14μ. Intensitatea radiației reflectate este dependentă de culoarea şi rugozitatea suprafețelor.

Sistemele de teledetecție obțin imagini prin baleiere, similar sistemelor de scanare multispectrală, utilizând însă senzori cu trăsături diferite. Senzorii de teledetecție sunt sensibili la diferențele de temperatură.

În general, senzorii sunt reprezentați prin cristale compuse din metale rare obținute în laborator (aliaje de PbS, InSb, CdHgTe, adaptate radiațiilor cu anumite lungimi de undă), plasate într-un mediu gazos (He), care permite răcirea permanentă a acestora pentru a fi aduse la tenmperatura de referință.

Imaginile de teledetecție prin scanare termică (în unele lucrări, termografiere) sunt alb-negru în care corpurile calde apar în tonuri deschise (fig. 12). Obținerea de imagini prin scanare termică este posibilă inclusiv pe timp de noapte şi indiferent de condițiile meteorologice. Imaginile în infraroşu termal diferă în funcție de momentul zilei când au fost preluate, deoarece şi comportamentul caloric este diferit. Fiecare modificare de ton de culoare la altul semnifică şi o anumită diferență de temperatură, ce se poate calcula prin aplicarea unor formule de calcul în funcție de parametrii imaginii.

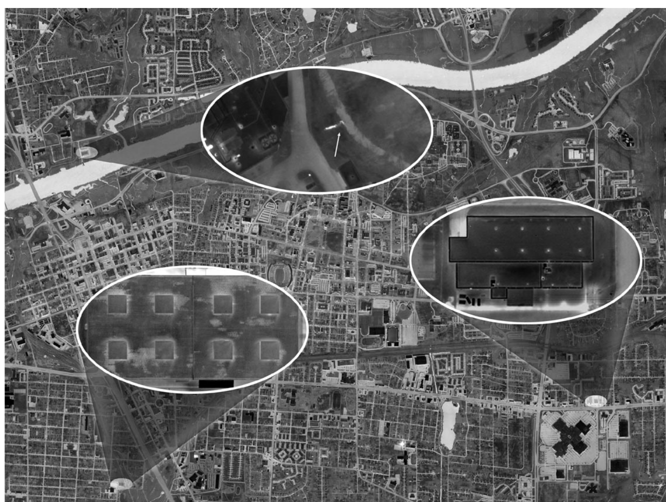


Fig. 12. Imagine în infraroşu termal (TIR) a unui oraş din SUA, preluată cu un scanner termic aeropurtat, pe timp de noapte. Sunt evidențiate emisiile de radiații calorice din jurul clădirilor dar şi contrastul termic dintre rețeaua stradală şi spațiile verzi. Râul canalizat este un corp cald, datorită deversării apelor epurate.

Aplicațiile scanării termice sunt importante în domeniul analizelor de mediu, ca de pildă analiza topoclimatică şi microclimatică, analiza specificului utilizării terenurilor,

urbanismul, analiza tipurilor de minerale şi roci utile, dar şi aplicații în domeniul militar (monitorizarea prin imagini multitemporale a mişcărilor de trupe şi tehnică militară).

Întrebări de autoevaluare

- Cum funcționează scannerele multispectrale?
- Ce aplicații au radiometrele?
- Cum poate fi interpretată o imagine obținută prin scanarea termică.

Tema de control (referat)

Aplicații în cercetarea mediului ale imaginilor de teledetecție pasivă.

TEMA 4. PRINCIPIILE TELEDETECȚIEI ACTIVE.

Conținut

- Noțiunea de teledetecție activă.
- Radarul.
- Lidarul.
- Sonarul.

Obiective

- Cunoaşterea şi înțelegerea principiilor active ale teledetecției.
- Cunoaşterea specificului imaginilor rezultate şi a unor aplicații ale acestora în cercetarea mediului geografic.

Teledetecția activă utilizează radiațiile electromagnetice generate artificial, cu ajutorul diferitelor instrumente, în vederea explorării şi înregistrării sub formă de imagini a obiectelor şi fenomenelor de pe suprafața terestră. Teledetecția cu mijloace active, determină posibilitatea de a obține imagini exacte ale obiectelor, folosind radiații ce se pot propaga în condiții diferite de cele utilizate în teledetecția cu pasivă (ex. microundele folosite de sistemul radar). Imaginile au aplicații variate în analiza mediilor geografice, fiind complementare imaginilor fotografice sau celor obținute neconvențional. Principiile cele mai cunoscute sunt legate de folosirea microundelor (radar), luminii polarizate sau laserului (lidarul), respectiv undelor sonore (sonarul).

1. Radarul

Principiul radarului (de la engl. Radio Detection and Ranging) se aplică de peste cinci decenii în domeniul navigației aeriene şi maritime sau fluviale. Imaginea radar permite sesizare pe monitoare, în timp util, a obstacolelor existente în câmpul sau raza de acțiune a sistemului. Acesta utilizează *microundele*, mai exact o parte a acestora, cu lungimi de undă mai mari de 0,5 cm, deoarece aceste radiații, vecine în spectru cu undele radio, au o bună rată de transmisie atmosferică. Mai mult, microundele se pot propaga indiferent de condițiile atmosferice şi sunt reflectate diferit de obiecte în fiuncție de expunerea lor la fluxuri de undă şi de caracteristicile suprafeței lor.

Radarul de teledetecție are ca aplicație principală obținerea de imagini ale terenului şi utilizează microundele generate artificial, cu ajutorul unor sisteme amplasate la bordul avioanelor, elicopterelor sau sateliților. Principiul acestuia este exprimat în fig. 13.

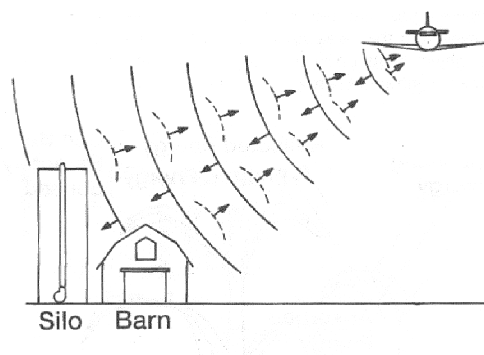


Fig. 13. Fluxurile de radiații (microunde) în cazul unei aplicații radar.

În figura de mai sus se observă emisia la interval egale (cadențată), de radiație incidentă, cu parametri cunoscuți, în direcția unor obiecte din teren (construcții), respective depolarizarea acestorv fluxuri la contactul cu obiectele ce au forme diferite. Microundele reflectate sunt captate după un interval de timp, la bordul avionului, de către sistemul radar, însă cu proprietăți diferite de radiațiile incidente. Recepția acestor radiații permite, înregistrarea lor, conversia în curenți electrici, proiectarea lor pe tuburi catodice, dar mai ales înregistrarea imaginii, fie la bordul aparatului de zbor, fie la stațiile special de la sol, unde sunt procesate imaginile.

Sistemele radar sunt de două tipuri, în funcție de localizarea fluxurilor de radiații şi acoperirea terenului.

În teledetecție, sistemele radar sunt de 2 tipuri, în funcție de posibilitățile obținerii de imagini de emisie verticală. În primul caz, cel al radarului cu emisie verticală, rezultă o imagine îngustă, similară unui profil topografic al terenului. Aplicația este utilă mai ales navigației aeriene, în diferite misiuni de fotografiere aeriană, deoarece se impune cunoaşterea exactă a plafonului de zbor.

Al doilea sistem este radarul lateral aeropurtat, cu acronimul SLAR (engl. Side Looking Airborne Radar), cea mai utilizată aplicație de acest tip. Acesta permite emiterea de microunde cu ajutorul unor antene mobile amplasate oblic pe fuselajul avionului, de o parte şi de cealaltă a acestuia sau lateral şi perpendicular față de direcția de zbor. În aceste condiții, rezultă o mult mai bună acoperire a terenului, ce creşte în funcție de plafonul de zbor (ex. lățimea zonei de acoperire în teren atinge 9 km la un plafon de 3000 m, respectiv peste 20 km la un plafon de cca. 7000 m). În figura 14, este prezentat schematic principiul acestei aplicații.

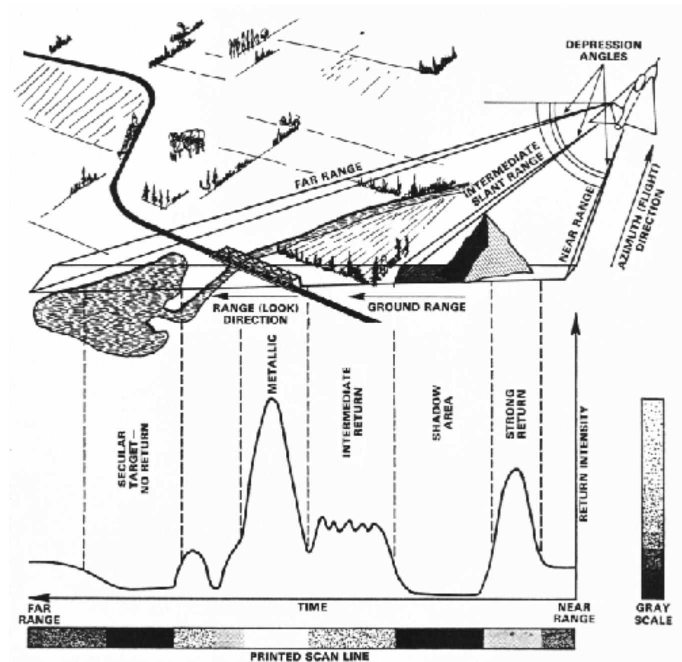


Fig. 14. Principiul radarului lateral aeropurtat (după Short, 2006).

În desenul de mai sus, se observă interacțiunea componentelor de mediu cu fluxurile oblice de microunde cu emisie cadențată (ex. peste 2000 de impulsuri pe secundă la unele sisteme). Acestea imprimă o reflexie diferită a radiațiilor incidente, datorată pe de o parte rugozității suprafețelor, materialelor componente (podul metalic determină un vârf de intensitate a semnalului de răspuns) şi pe de altă parte un răspuns slab în cazul apei lacului (penetrate de microunde), dar mai ales pentru suprafețele ,,ascunse'' sau ,,umbrite" în raport cu fluxul de radiații. În acest mod, imaginea radar rezultată este o sumă de puncte luminoase şi întunecate, o imagine alb-negru sau în scara de gri (engl.grayscale) în care suprafețele expuse spre radiația incidentă sunt deschise ca ton de culoare, iar cele adăpostite apar întunecate, aşa cum se observă şi în banda ce însoțeşte figura 14. De asemenea imaginea suprafețelor cu o mare netezime (ex. cele metalice, din sticlă, beton etc.) apare în tonuri deschise datorită dispersiei slabe a microundelor, în timp ce suprafețele cu aspect neuniform, rugos apar mai închise datorită diaspersării fluxurilor de radiații incidente. Imaginile se obțin prin baleiere, în timul deplasării avionului sau satelitului, prin coordonarea fluxurilor incidente şi reflectate cu viteza de zbor şi momentul înregistrării punctelor luminoase. Aplicația permite obținerea de imagini oblice, cu deformări geometrice, de mare utilitate în reprezentarea suprafeței topografice (figura 15).

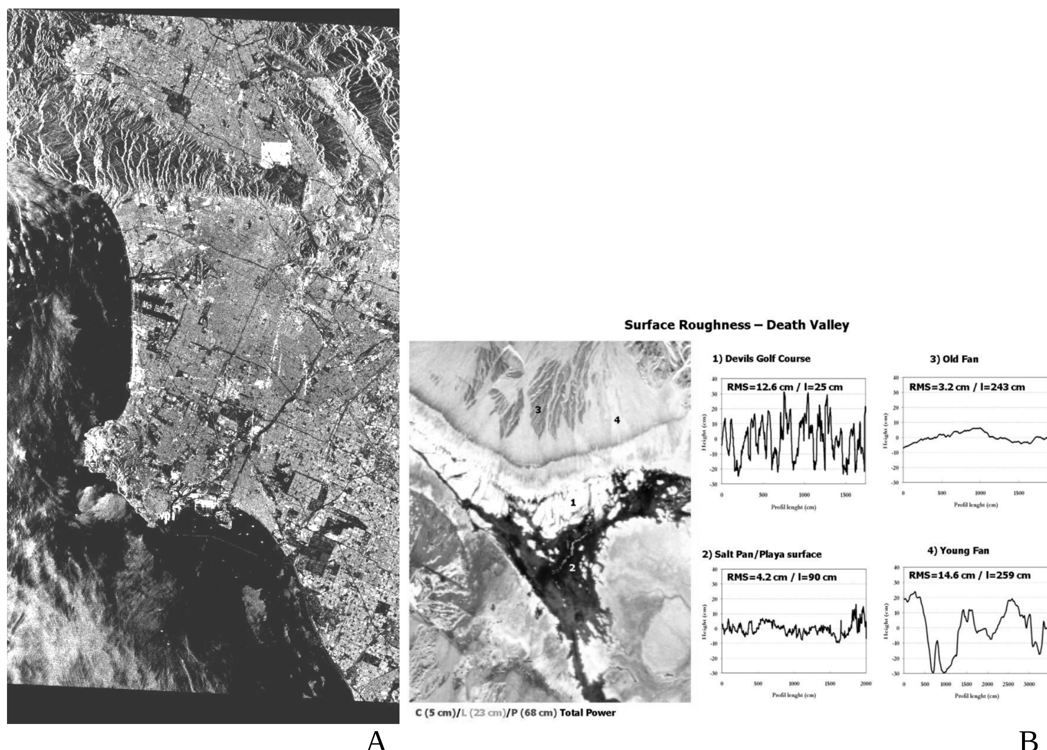


Fig. 15. Imagini de teledetecție radar. A. Imagine satelitară SEASAT asupra coastei Californiei. B. Imagine combinată în trei intervale ale spectrului microundelor (în scară de gri) şi profile topografice prin modelul digital rezultat, California (după USGS şi Short, 2006).

Din simpla examinare a imaginii din figura 15A, se observă morfografia sau fizionomia suprafeței topografice, linia țărmului, fragmenntarea versaților montani defrişați, contactul pe falii şi asimetriile impuse de structura geologică etc. Delimitarea treptelor de relief este lesnicioasă, dar şi aprecierea prin profile a fragmentării acestuia (fig. 15B).

Sistemul a devenit tot mai performant în ultimul deceniu, prin obținerea de imagini cu rezoluții din ce în ce mai mari, rezultatul unei sincronizări perfecte a vitezei de zbor, poziției antenei şi timpilor de emisie şi de răspuns ai semnalului. Aplicația SAR (eng. Synthetic Aperture Radar) sau radar cu deschidere sintetică, ce utilizează efectul Doppler (aplică ecoul în propagarea semnalului de răspuns), are ca scop obținerea de imagini radar cu rezoluții mari şi foarte mari.

Mijloacele actuale computerizate au atins performanța de a permite generarea automată a modelelor numerice sau digitale ale terenului din imagini radar oblice, cu o anumită suprapunere laterală. Procedeul se numeşte şi *interferometrie* şi este de mare utilitate în analiza dinamicii reliefului dar mai ales în obținerea elementelor de altimetrie, necesare hărților topografice. În vara anului 2000, naveta spațială americană a realizat o aplicație de teledetecție radar, destinată obținerii de imagini şi în final de modele digitale ale suprafeței topografice a întregului uscat terestru, la rezoluții de 30 m, prelucrate la 90 m. Misiunea SRTM (engl. Shuttle Radar Topographic Mission, fig. 16) a fost un succes, deoarece în prezent, aceste date topografice sunt accesibile diferitelor domenii de cercetare teoretică şi aplicată.

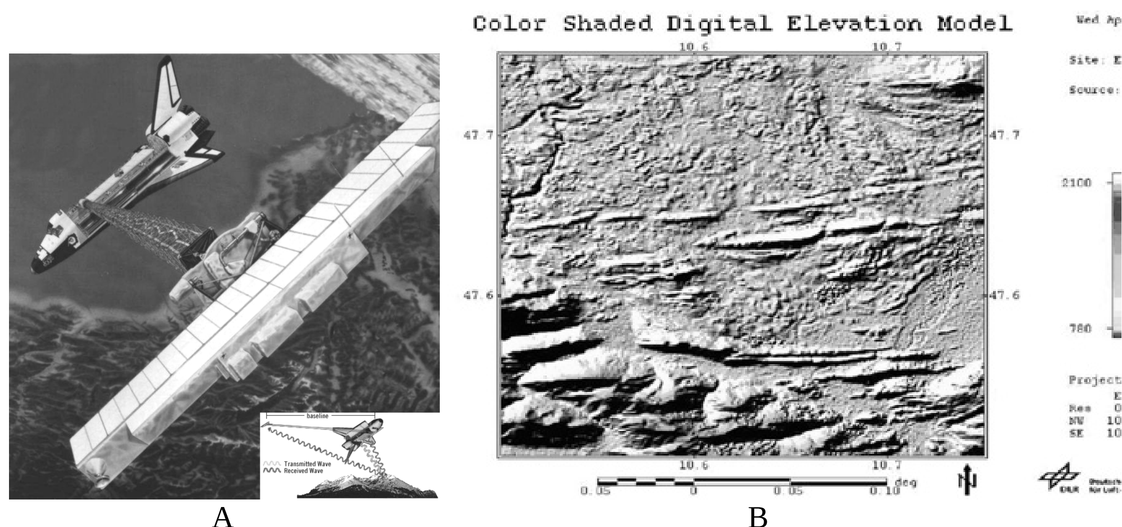


Fig. 16. Misiunea SRTM, cu sistemul de antenă mobilă radar montat pe naveta spațială (după USGS), A. Model digital, în scara de gri, al suprafeței topografice, obținut prin procesarea datelor din înregistrările radar din misiunea SRTM (după DLR).

Aplicațiile imaginilor radar sunt axate astfel tot mai mult pe cartografierea şi modelarea digitală a reliefului şi proceselor actuale (ex. alunecări de teren), dar se dovedesc importante şi în proiectele de amenajare teritorială şi urbanism.

2. Principiul lidarului

Este un mijloc activ de a obține imagini, similar până la un punct radarului, însă mai nou, fiind apărut şi perfecționat după anii 60. Lidarul (de la engl. Light Detection and Ranging) foloseşte în locul microundelor lumina polarizată numită şi laser.

Radiațiile luminoase cu un fascicul foarte îngust şi un mare potențial energetic, pot fi generate de către unele cristale sau substanțe gazoase supuse influenței unor câmpuri magnetice sau electrice. Principiul utilizează scanarea sau baleierea unor suprafețe situate lateral în raport cu direcția de zbor, prin coordonarea perfectă cu viteza de zbor a avionului sau elicopterului ce transportă instrumentul. La contactul cu obiectele din teren, semnalul incident, cu parametri cunoscuți este reflectat, o parte a luminii este absorbită, difuzată, astfel încât intensitatea răspunsului este captată, măsurată şi înregistrată sub forma unei imaginii alb-negru. Explorarea terenului se realizează prin baleiere sau scanare cu fasciculul monocromatic generat la bordul avionului, elicopterului sau satelitului iar coordonarea vitezei de deplasare cu cea de scanare se face cu ajutorul unui sistem special GPS (figura 17 A). Radiațiile luminoase cu alte lungimi de undă, provenite de la diverse surse, sunt eliminate prin filtrare în condițiile recepției semnalului de răspuns cu antena specială.

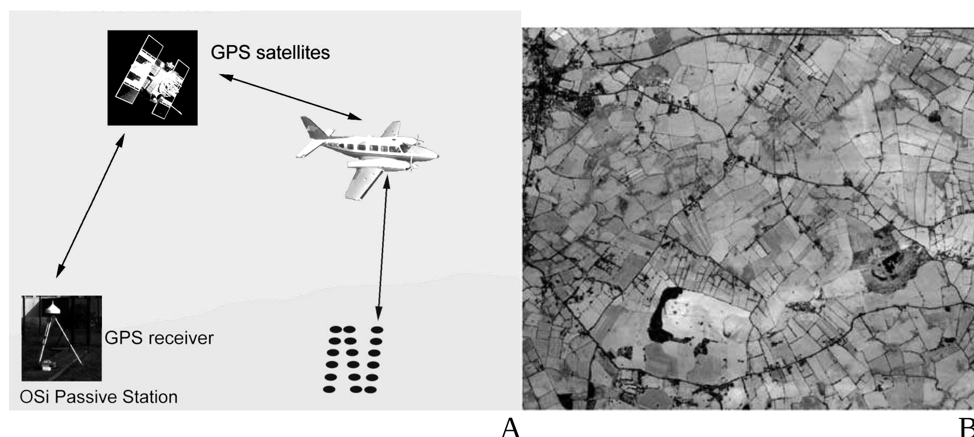


Fig. 17. Principiul lidarului aeropurtat (A) şi imagine lidar din Marea Britanie (B).

Imaginea rezultată este în scara de gri (fig. 17B) şi are de cel mai multe ori o foarte mare rezoluție spațială, de ordinul a 1-2 m sau chiar mai mare de 0,5 m. Aceasta implică posibilitatea modelări digitale sau a cartografierii unor obiecte sau fenomene cu o dinamică rapidă ca de pildă deplasări în masă, dinamica albiilor în timpul inundațiilor, formațiuni noroase, dinamica valurilor şi mareelor în regiunile litorale (cu precizii mai bune de 0,5 m, în funcție de altitudinea de zbor). Aplicațiile în topografia de detaliu sunt remarcabilă prin precizia şi importanța lor (altimetrie şi batimetrie pe baza unor modele numerice de teren derivate din imagini).

3. Principiul sonarului

Sonarul (de la engl. Sound navigation and ranging), numit şi ecosondă, utilizează undele sonore generate în limitele unor parametri cunoscuți de sisteme speciale. Aplicațiile sunt legate aproape exclusiv de mediul marin, de bazinele acvatice, deoarece propagarea sunetului, a ultrasunetelor este optimă prin apă şi mult mai dificilă în atmosferă. Principiul (fig. 18 A) este destul de apropiat de cel al radarului sau lidarului. Undele sonore sunt emise de generatoare submerse asemeni unor antene fixe sau mobile de pe nave sau submarine, în direcția fundului apei marine, unde interacționează cu diferite medii cu structuri şi rugozități diferite, expuse diferit în raport cu flux sonor incident. Sistemul explorează obiectelo tot prin scanare sau baleiere, în limitele razei de acțiune.

Reflectate în parte, aceste radiații electromagnetice se întorc spre navă unde sunt receptate cu senzori numiți geofoane, similare unor microfoane. Semnalul de răspuns este captat, înregistrat, prelucrat şi vizualizat pe tub catodic, unde apare o imagine alb-negru numită şi *sonogramă* (fig. 18 B). Aceasta arată destul de fidel, imaginea sedimentelor şi a formelor sau structurilor de pe fundul bazinului acvatic şi este utilă în studiul reliefului şi geologiei acestora. Din imagini dublet, aşa cum apar în fifura 18, se pot genera chiar şi modele digitale ale topografiei subacvatice, aplicație ce se poate dezvolta şi din interpolarea unor profile cu o ecosond portabilă. Suprafețele expuse undelor sinore sunt mai deschise ca ton de culoare, comparativ cu cele ascunse fluxului de unde. De asemenea rocile sedimentare moi absorb sau difuzează undele, mai ales când sunt slab consolidate, de aceea apar în ton închis, comparativ cu roci sau obiecte dure ce apar deschise.

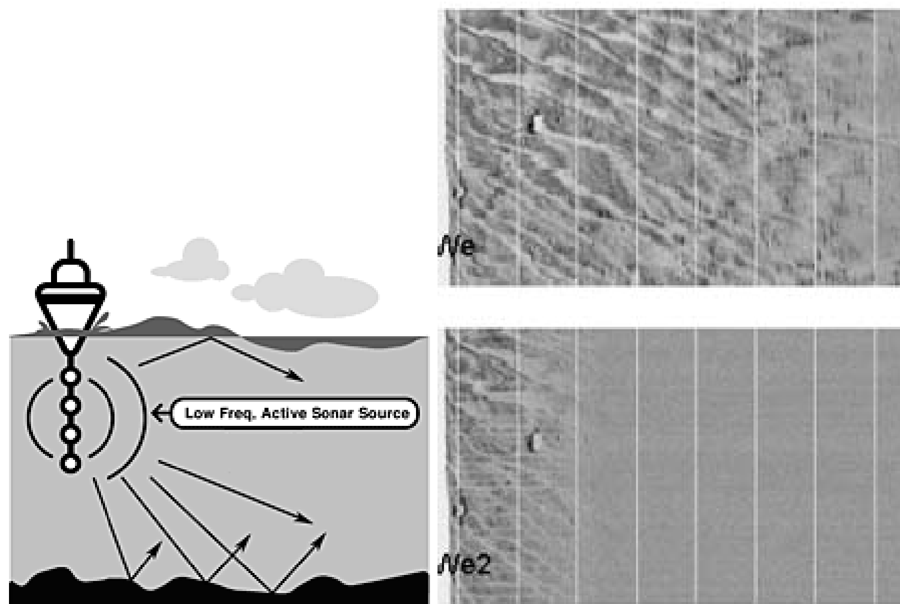


Fig. 18. Principiul sonarului de joasă frecvență (A) şi aspectul unei sonograme ce prezintă un sector de şelf continental (B).

Întrebări de autoevaluare

- Ce asemănări şi deosebiri există între sistemele de teledetecție activă ?
- Ce aplicații ale lidarului sunt importante pentru studiul reliefului?
- Cum poate fi interpretată geografic o imagine radar ?

Tema de control (referat)

Importanța în cercetarea mediului a imaginilor radar şi lidar.

O abordare comparativă cu imaginile obținute prin scanare multispectrală şi radiometrie.

TEMA 5. CARACTERISTICILE IMAGINILOR SATELITARE ŞI AERIENE

Conținut

- Caracteristici de bază ale imaginilor de teledetecție
- Exemple privind caracteristicile imaginilor.

Obiective

- Cunoaşterea şi înțelegerea particularităților imaginilor de teledetecție, prin intermediul exemplelor, în raport cu harta.
- Cunoaşterea şi înțelegerea avantajelor şi limitelor pe care le impun imaginile de teledetecție în aplicațiile lor.

Imaginile satelitare şi aeriene, sunt reprezentări obiective şi instantanee ale realității terenului, raportate precis la repere spațio-temporale. Aceast trăsătură le conferă proprietăți diferite în raport cu harta sau planul şi le recomandă drept una dintre cele mai utile şi mai sigure surse de informații cu localizare spațială sau informații geografice. Cu toate acestea, integrarea lor în diverse aplicații necesită cunoaşterea proprietăților lor, a avantajelor şi limitărilor ce rezultă din folosirea lor.

1. Scara imaginilor

Scara imaginilor reprezintă raportul de micşorare al unui element din teren care apare in cuprinsul imaginii. Scara imaginilor este o caracteristică individuala, astfel încât, fiecare imagine, fie satelitară, fie aeriană prezinta o scara proprie ce se impune a fi determinată în multe cazuri.

Scara unei imagini este un raport al cărui numitor nu este un numar rotund. Explicația trebuie legată de formula de mai jos, pe care o aplicăm unei fotograme aeriene (aerofotogramă obținută cu o cameră cu film). Relația se poate adapta uşor inclusiv imaginilor satelitare, prin eliminarea ultimului raport.

$$1/n = d/D = f/H$$

unde,
n este numitoril scării hărții
d este dimensiunea în imagine a unui detaliu din teren (m)
D este dimensiunea în teren a detaliului din imagine (m)
f este distanța focală a obiectivului camerei de fotografiere aeriană, specificată în cartea tehnică (mm)
H este plafonul de zbor de la care a fost preluată imaginea, specificat la fiecare fotogramă aeriană.

Cea mai simplă modalitate de a explica scara unei imagini este reprezentarea grafică a proiecției centrale specifică fotogramelor aeriene (fig. 19), obținute pe film cu o cameră specială (principiu convențional). Proiectia centrală este caracteristică fotogramelor

aeriene şi are ca punct de perspectivă focarul (B sau C în fig. 19 a şi b). Razele de proiecție corespund razelor de lumină reflectate de obiectele din teren, care trec prin focar şi ajung la suprafața materialului fotosensibil, la nivelul căruia are loc reacția fotochimică. Prin developare şi alte prelucrări de laborator rezultă fotograma aeriană.

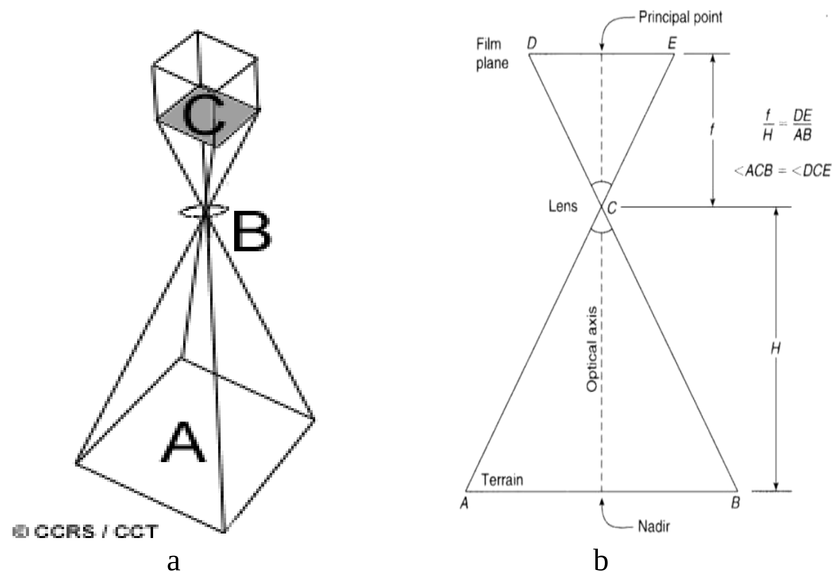


Fig. 19. Proiecția centrală a unei fotograme aeriene verticale. Imaginea suprafeței de teren A, este proiectată prin lentilele camerei de fotografiere B, rezultând imaginea aeriană sau fotograma micşorată C (a). Relația de calcul a scării imaginii, pe baza raporturilor dintre laturile a două triunghiuri asemenea (AB este D din formulă, DE este d din formulă), b.

Scara unei imagini de teledetecție este însă o noțiune mai complexă, în condițiile în care punctele şi obiectele din imagini sunt situate în realitate la altitudini diferite, deşi pe planul imaginii ele apar la acelaşi nivel. Rezultă că obiectele mai apropiate de cameră sau de senzor, de pildă cele de pe înălțimi, au scara mai mare decât cele mai depărtate, situate de pildă în văi sau depresiuni. Acestă deformare se numeşte şi *efect topografic* şi poate fi corectat prin modificarea proiecției centrale şi înlocuirea ei cu cea ortografică.

În formula scării valoarea plafonului de zbor (H) se va modifica în funcție de fragmentarea terenului, care determină o valoare diferită pentru fiecare prnct în funcție de altitudine. Rezultă că, în imaginea de teledetecție inițială, neprelucrată, scara poate fi calculată pentru fiecare punct. Valoarea ce ține seama de plafonul afişat pe altimetrul de pe marginea fotogramei este mai mult orientativă şi are un caracter general. În figura 20, se prezintă un exemplu de calcul a scării unei imagini aeriene, în valoare medie, prin diferențierea din plafonul de zbor, raportat la nivelul mării a altitudinii medii a terenului din imagine.

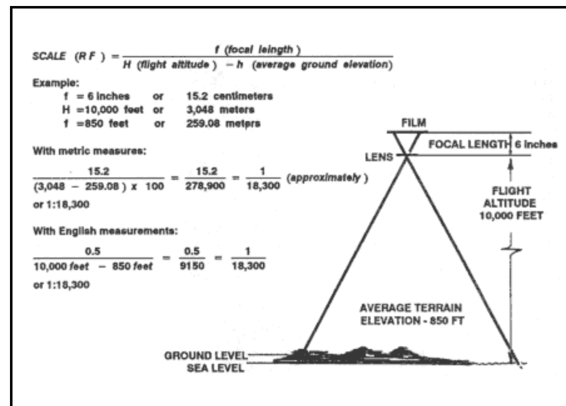


Fig. 20. Determinarea scării unei imagini în condițiile raportării formulei la plafonul de zbor şi la altutudinea medie a terenului.

Asemeni hărților, şi imagimile de teledetecție se pot grupa după criteriul scării, deşi în acest caz rezoluția este cea care face diferența mai evidentă. După Sabins (1997), imaginile se împart în trei categorii:

a) imagini la scari mari(mai mari de 1:50 000 ex. fotogramele aeriene, imaginile satelitare de mare şi medie rezoluție)
b) imagini la scari medii(între 1:50 000 – 1:500 000, ex. o parte a imaginilor satelitare de medie şi mică rezoluție)
c) imagini la scari mici(sub 1:500 000, ex. imagini de la sateliții meteorologici geostaționari, fig. 21)

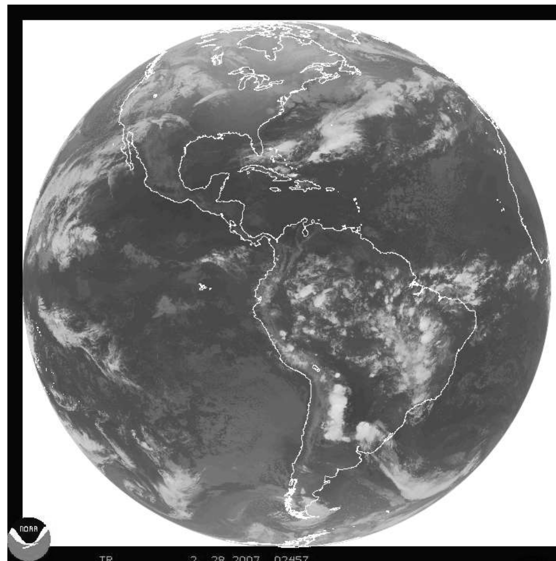


Fig. 21. Imagine la scară mică în infraroşu obținută de un satelit geostaționar NOAA-GOES, 28 februarie 2007, reprezentând America de Nord şi de Sud (NOAA).

2. Rezoluția imaginilor

Rezoluția este una dintre cele mai însemnate caracteristici ale unei imagini, deoarece aceasta permite identificarea unui obiect de către analistul care utilizează imaginea în diferite scopuri. Din acest punct de vedere rezoluția se poate defini spațial, spectral şi temporal.

Rezoluția spațială reprezinta dimensiunea lineară a celui mai mic obiect din teren prezent într-o imagine. Ea poate fi considerată şi ca lățimea liniei care separa două obiecte învecinate de mici dimensiuni dintr-o imagine ca de pildă un automobil şi o clădire. La imaginile digitale rezoluția spațială corespunde dimensiunii în teren a laturii unui pixel, cel mai mic element ce alcătuieşte imaginea respectivă.

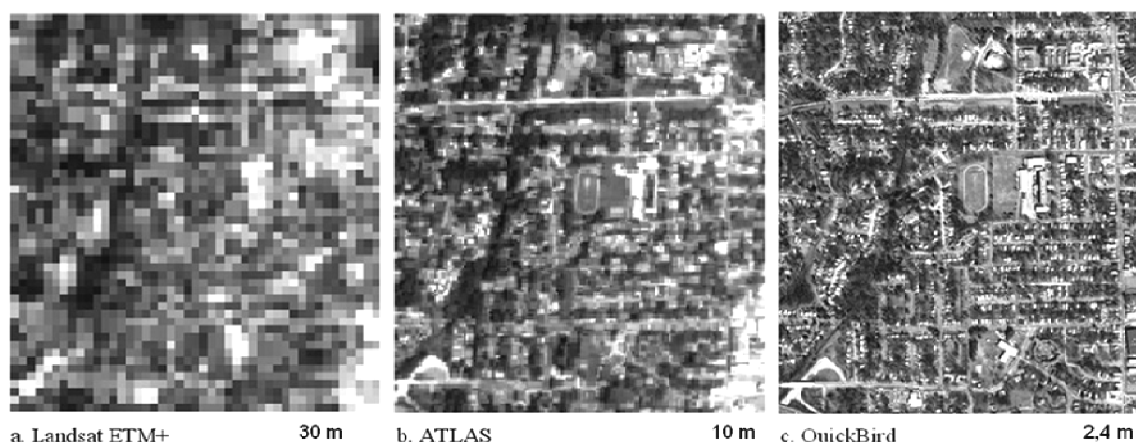


Fig. 22. Imagini satelitare de la diferiți senzori, reprezentând acelaşi areal (o aşezare din SUA), la diferite rezoluții spațiale. Volumul detaliilor creşte odată cu rezoluția spațială.

În figura 22, este uşor de sesizat diferența dintre imaginile de rezoluție medie şi cele de mare rezoluție spațială. De exemplu, stadionul din imaginea din dreapta este imposibil de localizat în imaginea din stânga. Trecerea, în sensul scăderii pragului unei rezoluții implică pierderea unor detalii. Din acest punct de vedere imaginile de medie rezoluție se folosesc mai ales în aplicații ce acoperă mari suprafețe, ca de pildă zonare vegetației, în timp ce imaginile de foarte mare rezoluție spațială sunt utile analizelor de detaliu, ca de pildă urbanismul sau cadastrul. Alegerea corectă a imaginilor impune mai întâi o documentare detaliată privind specificul spațial al obiectului sau fenomenului.

Puterea de rezoluție sau de rezolvare exprimă performanța unuei camere de aerofotografiere, a aunui senzor ăn general, de a permite obținerea de imagini de de cea mai bună calitate. Aceasta se precizează în manualul intrumentului şi este mai mare decât rezoluția spațială. Se exprimă în număr de perechi de linii albe şi negre pe cm sau mm, în imaginea-test obținută în vederea calibrării instrumentului (aducerii acestuia la specificațiile lui tehnice).

Rezoluția spectrală reprezintă intervalul spectral sau intervalul de lungime de undă în limitele căruia s-a realizat înregistrarea unei imagini (pentru exemplificare v. fig. 6). În cazul imaginilor multispectrale rezoluția spectrala se exprimă, în egală măsură, prin numarul de benzi sau intervale spectrale în care s-au obținut în mod simultan imagini ale

aceleiaşi suprafețe de teren (ex. scena satelitară), asemeni fig. 9. Aceasta permite identificarea unui obiect sau fenomen din teren prin intermediul radiației electromagnetice reflectate în limitele unei ferestre atmosferice. Astfel unele obiecte din teren, mai mici decât rezoluția spațială a imaginii se pot identifica datorită rezoluției spectrale care determină o mare valoare a reflectanței specifică acestu obiect. Este cazul unui drum ce traversează un teren cultivat agricol.

Rezoluția spectrală depinde de două elemente, de comportamentul spectral al obiectelor raportat la lungimea de undă a radiației electromagnetice, respectiv de sensibilitatea senzorului (sau a filmului la imaginile fotografice), în raport cu diferite intervale spectrale. În legătură cu această trăsătură a imaginilor se definesc două noțiuni.

Reflectanța ce reprezintă procentul din radiația solară incidentă pe care un corp relativ omogen fizic şi chimic, îl reflectă în atmosferă. Depinde de proprietatile corpului şi de intervalul spectral la care se raportează. Pe baza reflectanței în raport cu lungimile de undă ale spectrului electromagnetic, se generează o reprezentare grafică numită şi *curbă spectrală*. Aceasta este specifică fiecărui obiect din teren şi exprimă variația relectanței în raport cu lungimea de undă a radiației reflectate. Imaginile de mare rezoluție spectrală utilizează curbele spectrale în contextul obținerii lor prin scanare multispectrală sau radiometrie (fig. 23).

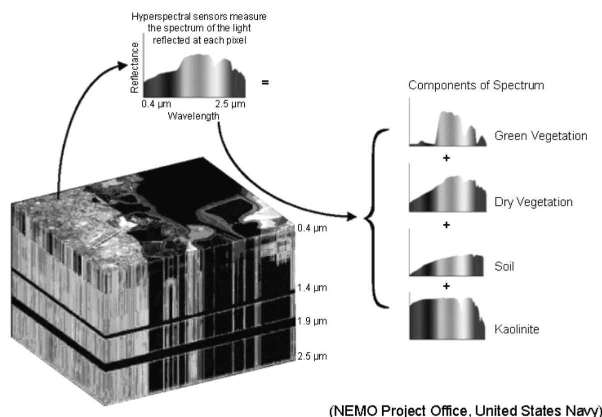


Fig. 23. Benzile spectrale suprapuse ale unei imagini de mare rezoluție spectrală (cu multe benzi) şi curbele spectrale ale unor elemente de mediu (ex. vegetația înverzită, vegetația uscată, solul, caolinitul) pentru intervalul de sensibilitate al senzorului (0,4-2,5µ). Scannerul hiperspectral aeropurtat NEMO, US Navy (după Short, 2006).

O altă noțiune folosită în definirea rezoluției spectrale este *radianța*. Aceasta corespunde valori cantitative a energiei radiante sau emisă în spațiu de un obiect cu o relativă omogenitate fizică şi chimică. Este exprimată în unități de energie raportate la unghi solid, suprafață şi lungime de undă (mW/cm^2/ steRadian/µm^2). Fiecărui obiect din imagine îi corespunde un anumit nivel al radianței ce poate exprima în imagini printr-o anumită strălucire. Aceast se află în relație de dependență lineară cu reflectanța, exprimată la rândul ei prin numărul digital sau valoarea spectrală, ce vor fi definite mai târziu. Rezultă că datele din imaginea de teledetecție sunt exprimate spectral prin radianță şi reflectanță.

Rezoluția temporală, localizează în timp caracteristicile imaginii de teledetecție şi reprezintă momentul de timp bine precizat (an, lună, ziuă, oră) la care a fost inregistrată o imagine. Acesta este precizat împreună cu datele auxiliare care însoțesc imaginea, indiferent de formatul analogic (pe hârtie sau peliculă transparentă) ori digital (ex. pe marginea imaginii din fig. 21).

Un alt mod de a defini rezoluția temporală îl reprezintă intervalul de timp în limitele căruia un sistem de teledetecție a înregistrat imagini sau acoperirea temporală a arhivei de imagini. Acest element este deosebit de util, deoarece *imaginile multitemporale,* obținute în mai multe momente de timp permit urmărirea unui fenomen natural, aşa cum apare în fig. 24.

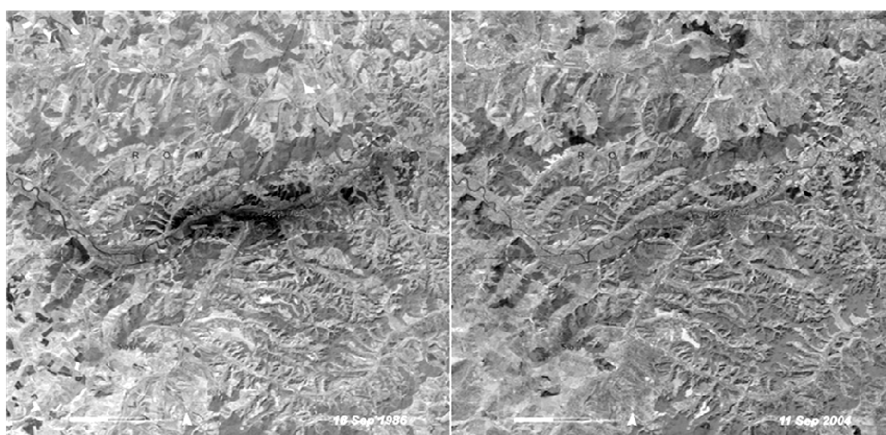


Fig. 24. Imagini Landsat TM din 18/09/1986 şi 11/09-2004 (falscolor 742, în scara de gri, ale zonei Copşa Mică din Depresiunea Transilvaniei, ce arată restrângerea arealului cu vegetație (pata neagră) poluată în urma închiderii combinatului de metale neferoase). Sursa: Atlasul Mediului, UNEP.

Rezoluția temporală explică, în egală măsură, prezența sau absența unui element din imagine la un moment dat. De exemplu apariția unor autostrăzi într-o imagine a unei regiuni dintr-un stat al Europei de Est.

3. ***Signatura spectrală***

Signatura spectrală reprezintă expresia cromatică (nuanță la imaginile color sau ton de culoare la cele alb-negru) a proprietăților spectrale ale unui obiect relativ omogen, ce apare într-o imagine.

Pentru a înțelege mai uşor această noțiune de bază în teledetecție, vom folosi exemplul vegetației în timpul primăverii sau al verii. În figura 25, copacul şi frunza exprimă elemente ce apar în imaginea de teledetecție. Copacul, respectiv frunza primesc radiația solară incidentă sub formă de radiații vizibile şi infraroşii. Acestea sunt absorbite de clorofilă (radiația albastră şi roşie), astfel încât vegetația reflectă în atmosferă radiațiile verzi (vizibil) şi infraroşii. Acest comportament defineşte țnsăşi signatura spectrală a corpurilor, explicată cel mai concret prin intermediul curbelor spectrale (fig. 23).

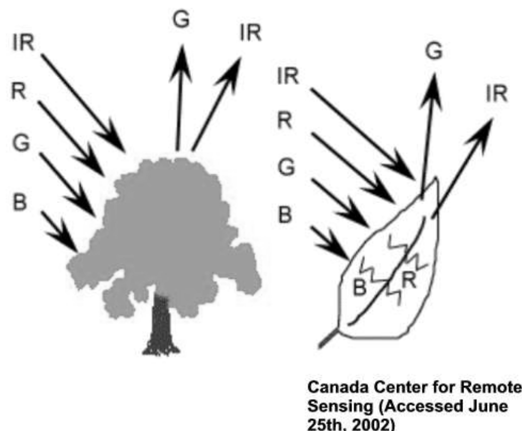


Fig. 25. Comportamentul spectral ce definește signatura spectrală a vegetației (după CCRS, Canada).

În aceste condiții, imaginile în verde şi infraroşu apropiat sunt utile în interpretarea vegetației, în timp ce imaginile în benzile albastru şi roşu sunt mai puțin utilizate în acest scop.

Din punctul de vedere al signaturilor spectrale, imaginile de teledetecție se clasifică în două tipuri: *imagini alb-negru* sau aşa numitele imagini în tonuri de culoare sau imagini în scară de gri şi *imagini color*.

Imaginile alb-negru prezinta signaturi spectrale sub forma de treceri de la alb la negru, numite şi tonuri de culoare (ce definesc scara de gri). Acestea sunt de două tipuri: *imagini într-o singura bandă spectrală* sau imagini spectrozonale (fig.9), imagini alb-negru care au fost înregistrate într-un interval spectral îngust aparținând unui singur segment al spectrului electromagnetic (ex. benzile spectrale ale unei imagini multispectrale ca de pildă infraroşul apropiat, verde etc.); *imagini pancromatic* sunt imagini alb-negru, înregistrate într-un interval mai larg de lungimi de undă din spectrul electromagnetic, ce cuprinde, de regulă, o mare parte din spectrul vizibil şi chiar o parte a infraroşului apropiat. De regulă, imaginile pancromatice se obțin, fie pe film, fie cu ajutorul scannerelor multispectrale. În al doilea caz, imaginile pancromatice se obțin simultan cu imaginile în diferite benzi spectrale (spectrozonale). Imaginea pancromatică obținută astfel are o rezoluție spațială mai mare decât cea a imaginilor obținute în diferitele benzi spectrale. Aceasta oferă un mare avantaj în perfecționarea imaginilor prin procesare digitală (procedeul image sharpening ce permite îmbunătățirea rezoluției unei combinații de benzi color, cu ajutorul benzii pancromatic).

Imaginile satelitare şi fotogramele aeriene sunt inițial imagini alb-negru (fig. 26), cu excepția fotogramelor obținute pe filmul color. Imaginea color rezultă doar prin procesare pe computer prin diferiți algoritmi, de la simpla combinație de benzi la analiza componentelor principale şi perfecționarea rezoluției (vezi Mihai, B.A., 2007).

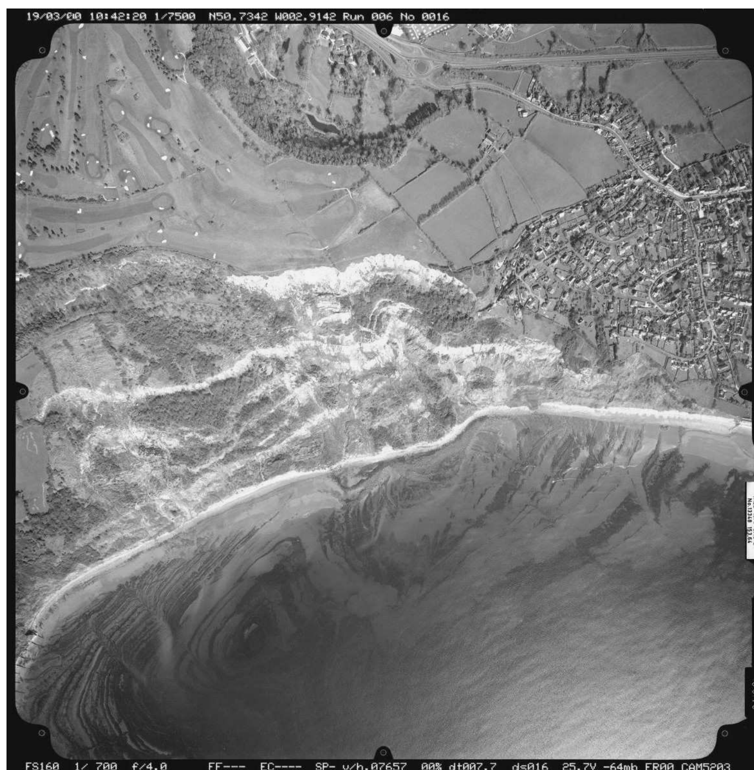


Fig. 26. Fotogramă aeriană alb-negru, micşorată, de tip pancromatic, reprezentând o zonă costieră. Sunt evidente elemente de morfodinamică litorală, batimetria, plajele, vegetația de pădure şi pajişti şi chiar o serie de deplasări în masă pe versant, în condițiile signaturilor spectrale ce corespund vizibilului şi infraroşului apropiat.

Analiza şi interpretarea în general a imaginilor alb-negru de teledetecție trebuie să înceapă prin cunoaşterea semnificației şi naturii signaturilor spectrale îmn funcție de tipul imaginii, de modul ei de obținere. Tonurile de culoare au semnificații diferite. De exemplu, o imagine în banda infraroşu apropiat arată în esență comportamentul spectral al corpurilor în acest interval (de ex. vegetația în plin sezon apare prin pixeli cu tonuri deschise ca urmare a clorofilei). Aceaşi imagine în infraroşul termal, arată vegetația în tonuri închise, deoarece temperatura acestui element este mai redusă decât a unui drum sau a unei clădiri (vezi Mihai, B.A., 2007). În imaginea radar, pixelii în tonuri deschise corespund unei reflexii puternice a microundelor, la nivelul obiectelor expuse către senzor, iar cei întunecați corespund elementelor ascunse. Există imagini la care datele asociate signaturilor sunt exprimate prin radianță (strălucire) dar şi imagini rezultate din prelucrări, respectiv operații de matematică spectrară ce sunt caracterizate prin valori de indici sau chiar diverşi parametri (ex. temperatura corpurilor, derivată matematic din imaginea lor în infraroşul termal).

Imaginile color se grupeaza în imagini *în culori naturale*, imagini în care signatura spectrală a obiectelor este exprimata prin culori apropiate de cele pe care le percepe omul (ex. padurea - verde, apa - albastru-verzui, drumurile şi construcțiile în cenuşiu deschis), respectiv *imagini falscolor* sau imagini în culori convenționale ce rezultă din înlocuirea culorilor naturale cu alte culori pe care ochiul uman nu le percepe

în realitate, dar care aduc informații suplimentare (ex. vegetația ce apare roşie). Signatura spectrală a aceluiaşi obiect omogen nu este identică în orice imagine falscolor pentru că imaginile fals-color rezultă din cele mai diverse combinații de benzi spectrale, în conținutul cărora obiectele apar diferit în funcție de reflectanța lor (fig. 27).

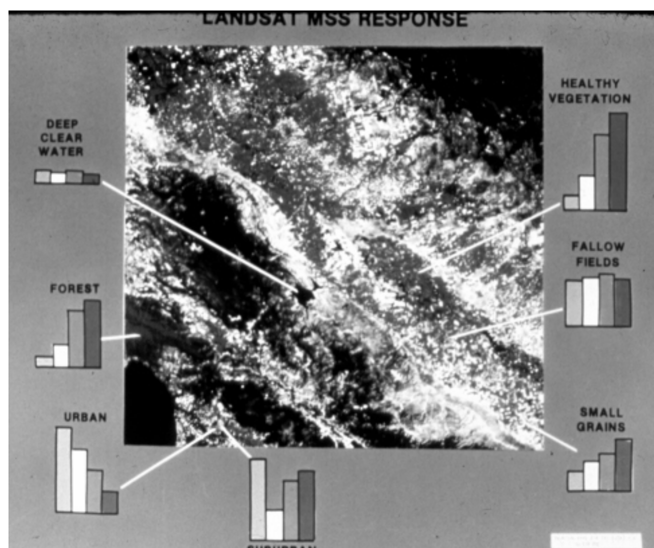


Fig. 27. Imagine satelitară color Landsat MSS (reprodusă în scară de gri) ce exprimă diferența de signatură spectrală pe coloane, la nivelul celor patru benzi ale imaginii multispectrale, pentru şapte categorii de acoperire a terenului, de la păduri la ape, teren agricol şi aşezări (după Short, 2006).

Cromatica imaginilor este astfel expresia signaturilor spectrale şi depinde de combinația în sistemul RGB (engl. red, green, blue) al culorilor aditive, ce stă la baza formării imaginilor în culori pe care omul le percepe cu ajutorul analizorului vizual (fig. 28). Formarea culorilor în imagini se realizează din trei signaturi spectrale, diferite, înlocuind cele trei zone din spectrul vizibil (albastru, verde, roşu).

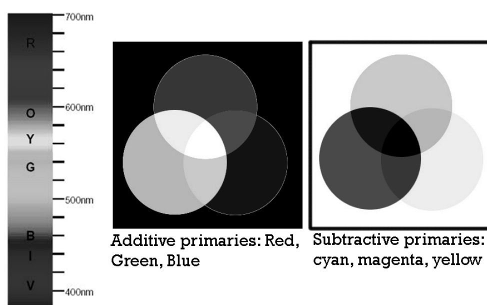


Fig. 28. Reprezentare schematică în scară de gri a sistemului aditiv şi a celui subsractiv de formare a culorilor în imagini. Astfel culorile obiectelor sunt rezultatul adunării signaturilor în trei benzi spectrale asimilate roşului, verdelui şi albastrului, dar şi scăderii signaturilor în sistemul substractiv (violet, turcoaz, galben).

Aplicațiile imaginilor în analiza elementelor de mediu în imagini color, fie în culori naturale, fie falscolor trebuie să înceapă prin analiza corelativă a signaturilor spectrale în raport cu diagramele curbelor spectrale ale componentelor de mediu analizate. Prin cunoaşterea vârfurilor de reflectanță (fig. 29) şi raportarea lor la intervalele benzilor spectrale se va stabili combinația optimă din care va rezulta cea mai bună imagine color, cea mai expresivă imagine aplicabilă în interpretarea unui element de mediu (vezi Mihai B.A., 2007 cu aplicații la imaginile Landsat ETM+).

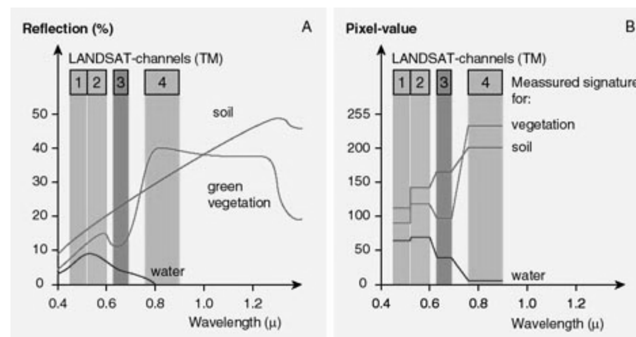


Fig. 29. Corelarea la nivel de reflectanță (A) şi de valori spectrale sau de pixeli (B), a signaturilor spectrale cu benzile 1-4 (albastru, verde, roşu, infraroşu apropiat) de la senzorul Landsat TM. Sunt prezentate curbele spectrale pentru apă, vegetația verde şi sol dezgolit. Se observă vârfurile de reflectanță diferite ca valoare şi interval spectral ale acestore trei componente ale peisajului.

Întrebare

Care este sunt combinațiile RGB cele mai potrivite, de trei benzi spectrale pentru interpretarea apelor şi a vegetației, conform figurii 29.

4. **Strălucirea şi tonul de culoare**

Această trăsătură exprimă variația intensității luminii reflectată de obiectele care apar în spatiul cuprins în imagine. Strălucirea este un component al signaturii spectrale şi contribuie la definirea comortamentului spectral al unui obiect.

Strălucirea, după Sabins (1997) este mărimea sau calitatea răspunsului spectral al luminii reflectate de un obiect din imagine. Ea se exprimă cantitativ în imagini cu ajutorul radianței, al cantității de radiație pe care un corp o emite in spatiu. Prin conversia reflectanței obiectelor în radianța corespunzătoare se poate calcula un indice de strălucire, ce prezintă cel mai fidel calitatea luminii reflectate de obiectele din teren, ca una dintre componentele unei transformări mai complexe numită şi tasseled cap. În figura 30, se prezintă o imagine a nivelelor de strălucire ale corpurilor, exprimate prin elementele scării de gri sau tonurile de culoare corespunzătoare. Cele mai mari nivele de strălucire corespund tonurilor deschise, apropiate de alb, ce exprimă în imagine suprafețe ce reflectă o mare cantitate de lumină. În exemplul de mai jos acestea sunt terenurile arate, neacoperite de vegetație, respectiv aşezărilor, în timp ce valori minime sunt specifice apei râurilor şi lacurilor.

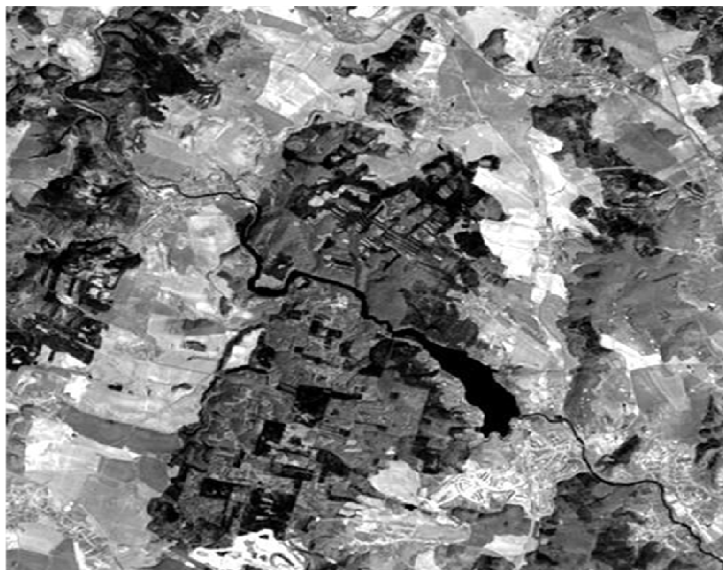


Fig. 30. Imaginea indicelui de strălucire exprimată prin tonuri de culoare, derivată dintr-o imagine Landsat TM, zona Brno, Republica Cehă.

Tonul de culoare reprezintă trăsătura unui obiect de a reflecta radiația solară incidentă, pe fondul caracteristicilor atmosferice şi sensibilității filmului sau senzorului de teledetecție. Tonul de culoare constituie modul de exprimare al signaturii spectrale în cazul unei imagini alb-negru, aşa cum am explicat anterior. Strălucirea se exprimă cu ajutorul scării tonurilor de culoare, ce reprezintă totalitatea nivelelor de gri care pot apărea într-o imagine între valorile alb şi negru. Tonul de culoare, caracterisitic aceluiaşi obiect din imagine nu este identic în toate imaginile alb-negru. Acesta depinde de intervalul spectral în care s-a realizat imaginea, respectiv sensibilitatea senzorului sau a filmului, la care condițiile atmosferice.

În figura 31 se prezintă diferențele de strălucire, respectiv de tonuri de culoare dintre imagini ale aceleiaşi regiuni, în patru intervale spectrale diferite. Din examinarea vizuală se observă că norii pot induce o strălucire aparte imaginii ce diminuează, şi deseori complică signatura spectrală a elementelor din teren. Intervalele vizibilului, în care apar nori impun dificultăți de interpretare prin numărul mare de tonuri apropiate de culoare, în timp ce imaginile în infraroşu, cu un grad mic de acoperire noroasă sunt mai uşor de analizat şi datorită numărului limitat de tonuri, relativ deosebite.

O interpretare a tonurilor de culoare este cea legată de signatura spectrală din subcapitolul anterior.

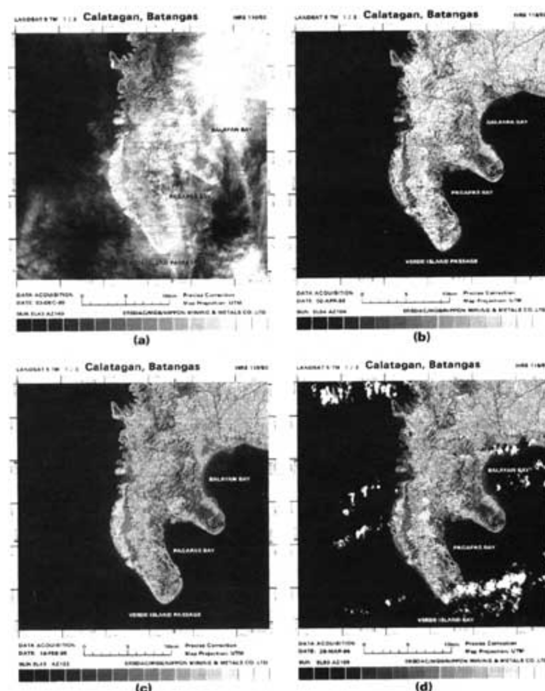


Fig. 31. Diferențe de strălucire exprimate prin tonuri de culoare în limtele unei imagini Landsat MSS din Insulele Filipine. Imaginile cuprind inclusiv scara tonurilor de culoare.

5. Contrastul

Contrastul imaginilor numit şi *raportul de contrast* este exprimat prin raportul dintre porțiunile cele mai luminate şi cele mai întunecate ce compun imaginile. Acesta poate fi exprimat şi mai expeditiv, prin numărul de tonuri de culoare care pot fi identificate într-o imagine cu ochiul liber sau cu ajutorul scărilor de tonuri sau eşantioanelor din scara de gri. Caracteristicile contrastului depinde de uniformitatea signaturilor spectrale (obiecte sau medii identice cum ar fi apa mării), de difuzia radiației datorată norilor din atmosferă şi sensibilitatea filmului sau a senzorului.

O imagine are un contrast bun atunci când numarul de tonuri de culoare ce pot fi identificate cu ochiul liber este mai mic (7,8 cel mult 10). Aceasta nu introduce nici probleme mari de interpretare vizuală. Imaginile cu un contrast slab nu permit identificarea exactă a numărului de tonuri de culoare chiar şi cu ajutorul scărilor de ton. În acest caz, tonurile sau chiar nuanțele de culori, se contopesc iar anumite obiecte sunt greu de identificat.

Contrastul se poate exprima cantitativ prin intermediul raportului de contrast, cu formula simplă:

CR = Bmax/ Bmin, unde

CR - raportul de contrast,

Bmax, Bmin – strălucirea maximă şi minimă a punctelor sau pixelilor din aceeaşi imagine.

Aprecierea cantitativă se face pe o scara de la 1 la 10. Valorile mai mari de 4,5 reprezintă un contrast bun, iar cele sub 1,5, un contrast slab. În cazul în care strălucirea minimă este zero, raportul tinde spre infinit, iar când cele două valori ale strălucirii din formulă sunt egale, imaginea are contrastul unitar şi apre fie albă fie neagă, fără a mai distinge elementele de conținut.

Corectarea contrastului unei imagini este una dintre etapele preprocesării digitale. Adeseori, anumite signaturi spectrale au o strălucire ce le face greu de identificat în analiza, în interpretarea imaginii de teledetecție.

O modalitate de corectare este folosirea *histogramei imaginii*, ce exprimă distribuția procentuală a valorilor spectrale sau numărului digital la nivelul unei imagini alb-negru (fig. 32), indiferent de tipul acesteia, pancromatică sau spectrozonală. Rezultă că imaginile color prezintă trei histograme, câte una pentru fiecare bandă sau canal spectral combinat în sistemul RGB.

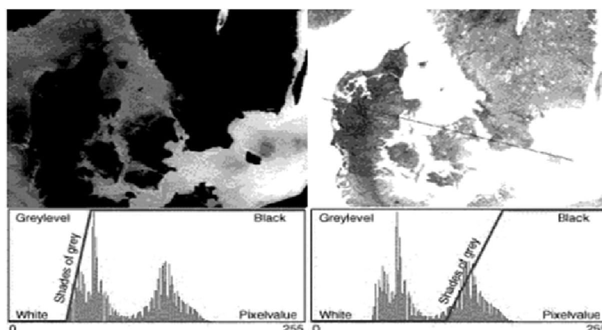


Fig. 32. Histogramele corespunzătoare a două imagini spectrozonale din sudul Scandinaviei şi Danemarca. Imaginea din stânga se remarcă prin contrast slab, în timp ce cea din dreapta are un contrast îmbunătățit, prin redistribuirea tonurilor de culoare în zona ,,mai luminoasă'' a graficului cu valori spectrale mai mari.

Definirea histogramei imaginii digitale implică şi precizarea noțiunii de *valoare spectrală sau număr digital* (engl. digital number, prescurtat DN). Acesta este un număr întreg, cuprins (în cazul imaginilor codificate în sistem byte sau de 8 biți), între valorile 0 (negru) şi 255 (alb), asociat fiecărui pixel în parte la nivel de imagine alb-negru, fie spectrozonală (banda spectrală) fie pancromatică (ex. fotogramă aeriană). Valorile acestuia exprimă în fapt tonuri de culoare, exprimând reflectanța corespunzătoare unui pixel ce compune imaginea unui obiect (fig. 33). Prin modificarea acestor valori, ce compun imaginea asemeni unei matrici, rezultă posibilitatea îmbunătățirii contrastului, a generării de imagini mai expresive comparativ cu cea inițială, ce sunt frecvent integrate combinațiilor color. Modificarea se poate face fie după funcții matematice prestabilite, fie prin redistribuirea valorilor în funcție de necesitățile interpretatorului sau analistului. (vezi Mihai, B.A., 2007).

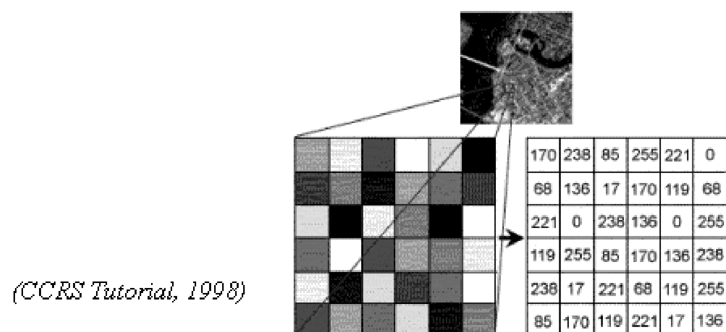


Fig. 33. Exprimarea tonurilor de culoare dintr-o imagine în scara de gri, cu ajutorul valorilor spectrale sau numerelor digitale. Acestea se prezintă diferite de la o bandă spectrală la alta, pentru acelaşi pixel la care se raportează (după turorialul CCRS, Canada, 1998). Imaginea se prezintă ca o matrice.

Avantajul cuantificării valorilor spectrale este important şi în ceea ce priveşte posibilitatea efectuării de operații avansate cu imagini, mai exact cu signaturi spectrale, destinate izolării unor elemente de mediu, prin evidențierea pe baza rezultatului calculului cu matrici a signaturilor spectrale diferite. Un exemplu sunt indicii normalizați de diferențiere ce se referă la diferite componente de mediu, ca vegetația, apa, umiditatea, construcțiile etc.

6. Capacitatea de detectare sau de detecție exprimă în ce măsură o imagine de teledetecție permite analistului sau interpretatorului să sesizeze prezența unui obiect şi a unor caracteristici ale acestuia, folosind ochiul liber dar şi instrumente optice ori tehnica digitală de procesare şi analiză a datelor. Aceasta depinde de toate proprietățile impportante ale imaginii, dar mai ales de rezoluția spațială (ex. un detaliu are dimensiuni suficiente pentru a fi identificat, ca de pildă un drum la rezoluția de 10 m), spectrală (detaliul reflectă lungimi de undă adecvate pentru a avea o signatură spectrală diferită de cea a obiectelor vecine, ca de pildă un drum în raport cu un câmp cultivat la 10 m rezoluție) şi temporală (dacă detaliul exista în teren atunci când s-a înregistrat imaginea, ca de pildă o autostradă, ce apara doar în imaginile după anul 2004 din Bărăgan la rezoluția de 30 m). Detectarea depinde în mare măsură de experiența analistului care aplică criterii şi procedee speciale în acest sens. Un exemplu este cel din figura 34, ce exprimă posibilitatea de a grupa de a clasifica, în sistem supervizat, prin cunoaşterea şi identificarea obiectelor, elementele acoperirii terenului dintr-o zonă costieră din estul SUA. Reprezentarea are capacitatea de a deveni chiar hartă a acoperirii terenului, prin capacitatea de a permite detectarea, recunoaşterea obiectelor. O altă problemă rezultă din posibilitatea de a diferenția, de a separa obiecte cu forme şi signaturi spectrale apropiate (de ex, şosele în raport cu canaluri şi căi ferate pe iamgini de medie rezoluție spațială).

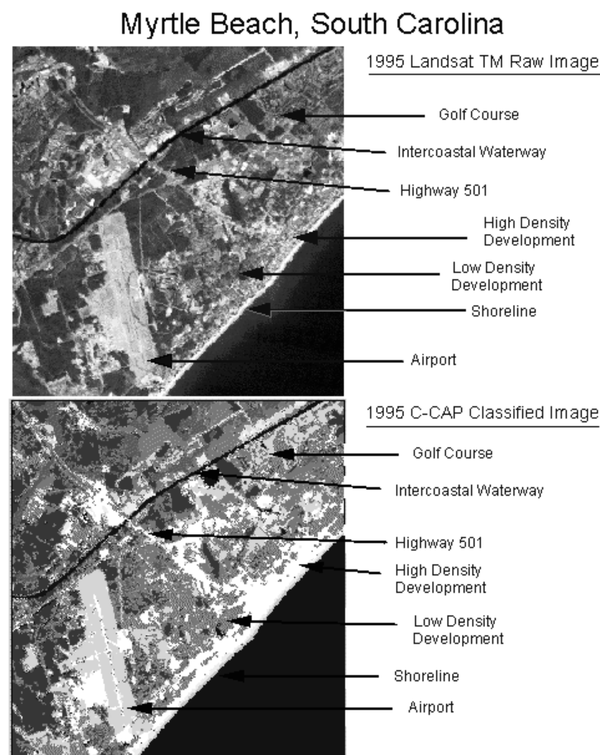


Fig. 34. Imagine Landsat TM falscolor 432 din estul SUA (1995), rezoluția de 30 m, interpretată vizual în vederea elaborării unei clasificări supervizate a pixelilor (după Short, 2006).

7. Acoperirea spațială a imaginilor are o mare însemnătate în alegerea acestora pentru diversele aplicații. Ea exprimă cât de extins este terenul ce corespunde unei scene satelitare sau unei fotograme aeriene. De cele mai multe ori imaginile au un format pătrat sau dreptunghiular, dar prin prelucrări sau procesări există posibilitatea creării de noi formarte, dar şi de extindere prin mozaicare analogică sau digitală a ariei acoperite de imagini.

Acoperirea spațială se exprimă fie prin distanța sau dimensiunea în teren a laturii sau laturilor imaginii, fie prin număr de pixeli pe lungime şi lățime. Cele două moduri sunt legate prin posibilitatea de a transforma valorile pe baza rezoluției spațiale. Situațiile sunt oarecum diferite la imaginile satelitare, respectiv la aerofotograme (fotogramele aeriene).

În cazul *imaginilor satelitare* se precizează frecvent dimensiunea scenei satelitare în teren, respectiv latura sau laturile acesteia în kilometri şi chiar coordonatele geografice sau rectangulare ale colțurilor. Aceste dimensiuni sunt standard, dar diferă de la un senzor la altul în funcție de rezoluția spațială, altitudinea plafonului de zbor, sensibilitatea senzorului şi multe alte elemente tehnice. De exemplu, o scenă satelitară Landsat este aproximativ un pătrat cu dimensiunile 185x185 km la 30 m rezoluție (fig. 35), o scenă SPOT 4 este un pătrat de 60x60 km la 10 m rezoluție, o scenă Ikonos un pătrat de 11x11km, la 4 m rezoluție în multispectral şi 1 m în pancromatic etc.

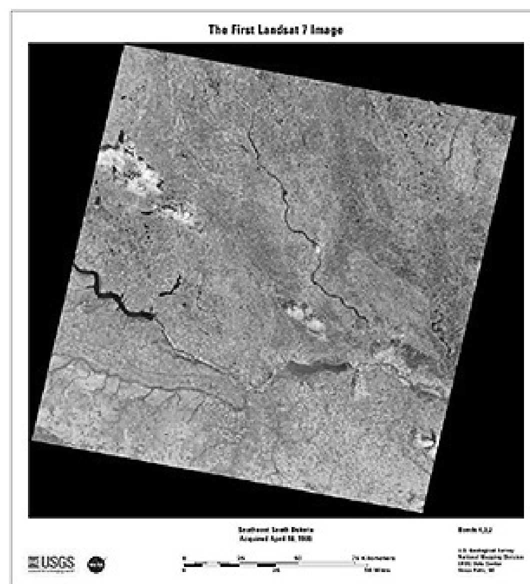


Fig. 35. Imaginea micşorată a unei scene satelitare Landsat ETM+ din 1999, în scara de gri, exprimată sub forma unei hărți satelitare (după USGS).

De cele mai multe ori, aplicațiile utilizează fie subscene sau porțiuni din scene sau chiar mozaicuri de scene ce acoperă suprafețe şi mai extinse de teren. În acest caz, se apelează la arhive de imagini satelitare, ce oferă posibilitatea de a achiziționa datele dorite în vederea construirii diferitelor aplicații. Căutarea în arhive se face după numere de identificare şi după datele de bază ale imaginilor, dintre care rezoluția este importantă, dar şi gradul de acoperire noroasă etc. Pentru teritoriul României, un astfel de mozaic de imagini reuneşte peste 20 de scene Landsat. De cele mai multe ori, mozaicurile integrează imagini de calitate apropiată, care pot fi obținute la intervale mari de timp diferență, ca urmare a identificării scenelor pe baza orbitelor şi a şirurilor, pe harta globului (ex. sistemul de referință WRS 2 al imaginilor Landsat, vezi site-ul internet al USGS, dedicat misiunii Landsat). Astfel imaginile se pot căuta similar unor foi de hartă (ex. baza de date Global Land Cover Facility a Universității Maryland, vezi Mihai, B.A., 2007).

Fotogramele aeriene sau aerofotogramele au o acoperire spațială mult mai mică decât imaginile satelitare. Ele sunt fotografii cu un format de regulă pătrat sau dreptunghiular, exprimat mai frecvent prin dimensiunile în centimetri ale suprafeței utile, deoarece scara diferă de la un zbor la altul (format 18x18 cm, 23x23 cm, 40x40 cm, 18x23 cm etc.). Acoperirea spațială depinde şi de tipul de imagine după unghiul de fotografiere, respectiv, unghiul verticalei locului cu axul sistemului optic sau al camerei de fotografiere. În acest sens există *fotogramele verticale sau nadirale,* la care unghiul este de sub 3° (fig. 36), prezintă obiectele prin imagini apropiate de proiecția lor, fiind utilizate pe scară largă inclusiv la întocmirea de hărți şi planuri. Acoperirea spațială se poate aprecia uşor cunoscând scara imaginii.

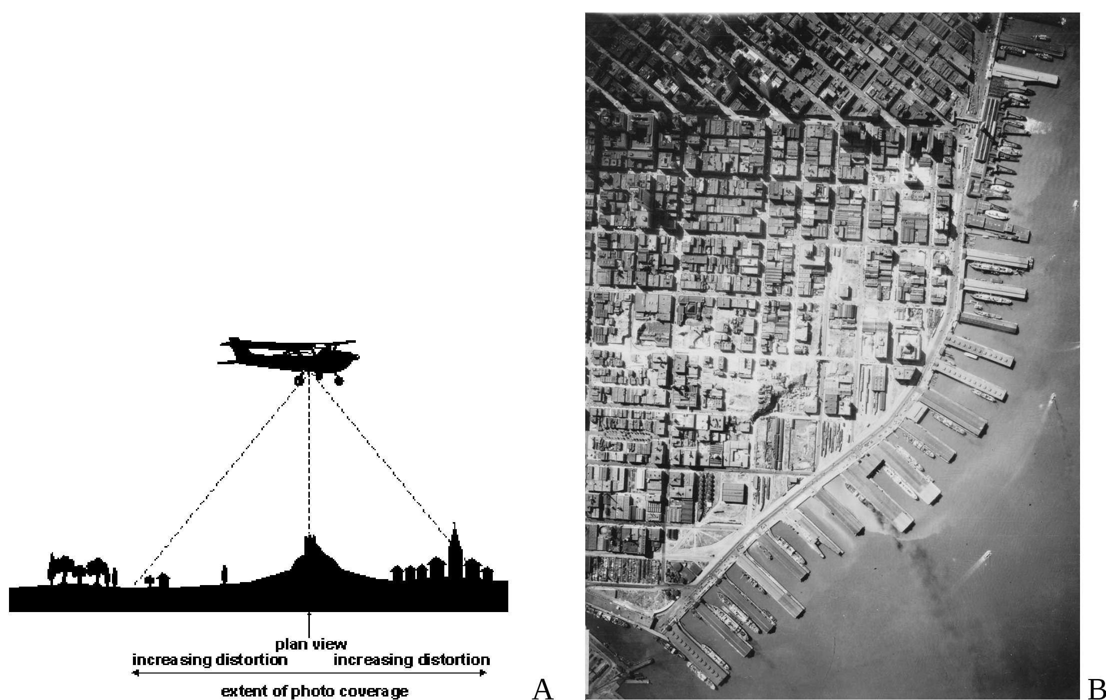


Fig. 36. Obținerea fotogramelor aeriene verticale (A) şi porțiune de fotogramă aeriană pancromatică a unei părți a New York-ului (B), după USGS.

Fotogramele oblice şi cele înclinate prezintă un unghi al axului optic al camerei cu verticala locului de 3-15° şi se numesc înclinate, iar cele cu unghiuri mai mari de 15°, sunt considerate oblice sau panoramice atunci când în imagine apare şi linia orizontului. Formatul acestora este de regulă identic cu cel al imaginilor verticale, dar acoperirea spațială efectivă se calculează mai greu ca efect al variației scării pe axa verticală a imagini (fig. 37). Sunt imagini ce oferă avantajul unei interpretări mai lesnicioase prin acoperirea mai mare a terenului şi expresivitatea imaginii obiectelor ce se apropie în cazul celor oblice, destul de mult de imaginea din teren.

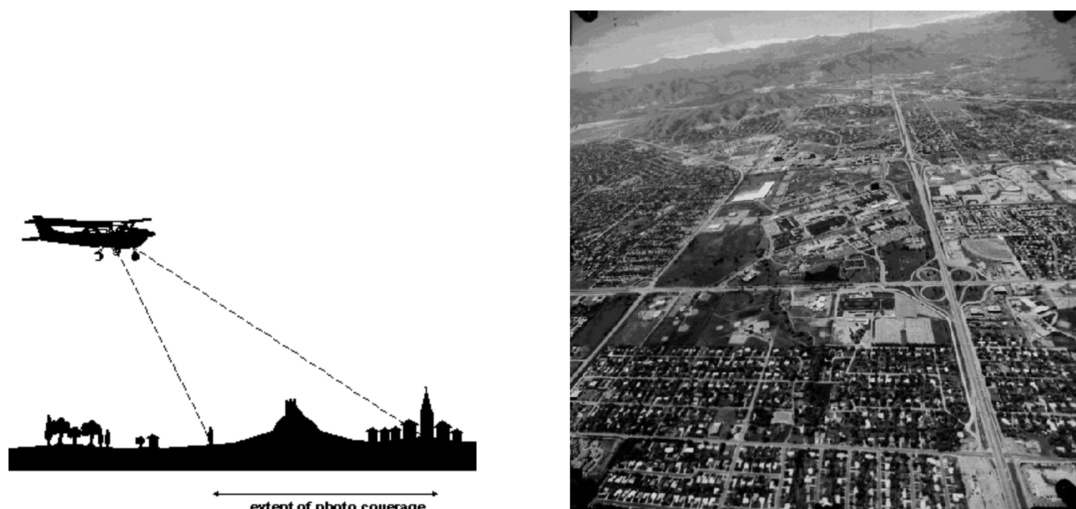


Fig. 37. Obținerea unei imagini aeriene oblice şi imagine panoramică micşorată, în scara de gri, a unei aglomerări urbane din California, SUA şi a unei intersecții de autostrăzi.

Potențialul oferit de imaginile aeriene este mai mare decât simpla fotografiere a terenului la o scară şi o rezoluție utile studiilor de detaliu. Fotografierea aeriană efectuată în sistemul benzilor (fig. 38), pe trasee paralele de zbor ce acoperă în final zona de interes în diverse aplicații implică posibilitatea extinderii acoperirii spațiale în mod considerabil.

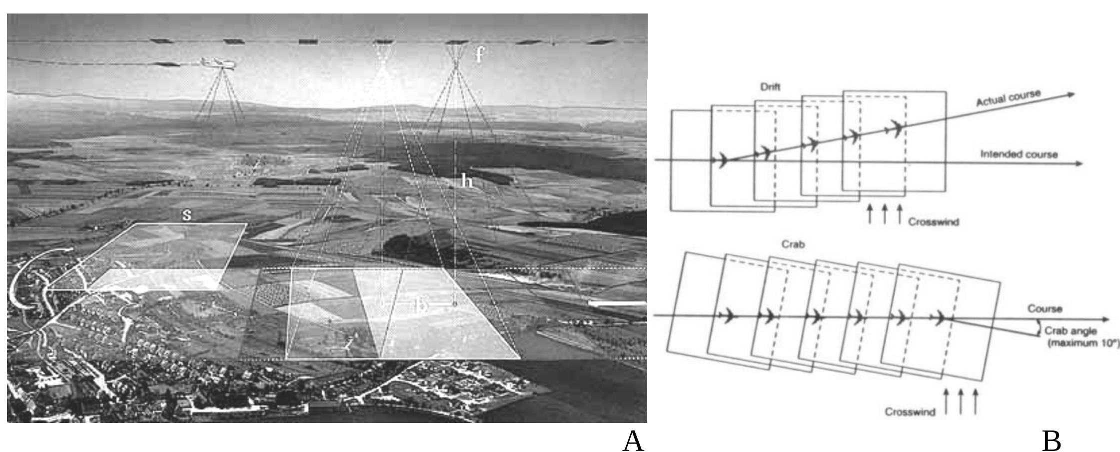


Fig. 38. Aerofotografierea (A) se realizează în benzi paralele, în care imaginile se suprapun lateral şi transversal (B), acoperind în final toată zona de interes asemeni unui mozaic.

Suprapunerea laterală a imaginilor, extinde suprafața acoperită de imagini, dar, în condițiile în care ea reprezintă un procent mediu de 60% din cele două imagini alăturate. Astefel se formează un dublet, ce se poate exploata cu aparate optice ce utilizează principiul stereoscopiei (stereoscop, interpretoscop). Acest model tridimensional, pe care ochii în percep prin lentilele stereoscopului se mai numeşte şi stereomodel şi are aplicații

largi şi în interpretarea calitativă şi cantitativă, respectiv în realizarea de hărţi şi planuri prin restituţie fotogrammetrică (fig. 39).

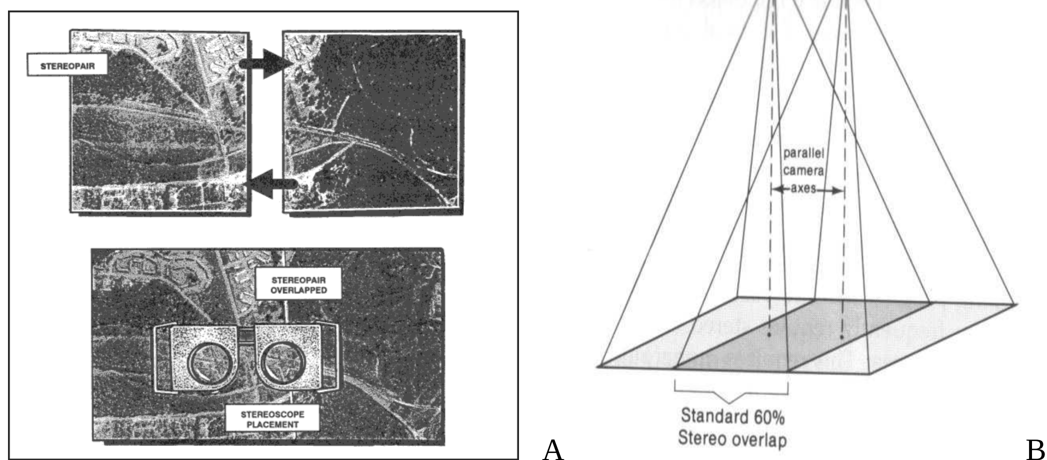


Fig. 39. Dubletul exploatat cu stereoscopul de buzunar (A) şi suprapunerea standard a imaginilor aeriene ce alcătuiesc dubletul (B).

Extinderea acoperirii spaţiale se realizează prin fotoasamblajele de imagini, care pot fi expeditive sau necontrolate (imagini nemodificate sub raportul proiecţiei) şi controlate (imagini la care proiecţia centrală a fost înlocuită cu alte proiecţii). În primul caz, cele mai simple asocieri de imagini, permit obţinerea dubletului (fig. 39) dar şi a tripletului (o asociere de trei imagini alaturate, în esenţă reprezentată prin două dublete), multipletul (banda sau seria de fotograme, ce reuneşte parţial sau total fotogramele obţinute de-a lungul aceleiaşi direcţii de zbor). Aceste simple asocieri limitează oarecum acoperirea spaţială a fotogramelor. Din această cauză se utilizează şi mozaicul de fotograme ce reuneşte mai multe benzi consecutive de fotograme, obţinute în urma aceluiaşi zbor sau a mai multor zboruri atunci când este necesară mărirea acoperirii spaţiale pentru analiza fenomenelor dintr-o zonă vastă (un masiv montan, o depresiune etc.). Mozaicul de imagini aeriene (fig. 40), este deseori întocmit şi micşorat prin refotografiere, în scopul localizării după număr şi poziţie în cadrul benzii, a unei imagini, a unui detaliu sau al unui areal. În acesta caz se numeşte şi *fotoschemă* şi însoţeşte de cele mai multe ori mapa cu fotogramele elaborate în urma aceluiaţi zbor, ce au evident scări apropiate, menţionate în fotoschemă la o valoare medie, rotunjită (ex. 1: 4000), alături de trapezul geodezic, parametri ai camerei fotogrammetrice, data, localizarea unor puncte de reper în teren etc. Imaginea micşorată şi fotografiată este evidentă prin limitele suprafeţelor utile ale imaginilor componente (fig. 40). Fotoasmalajele controlate, cealaltă categorie vor fi discutate în subcapitolul următor.

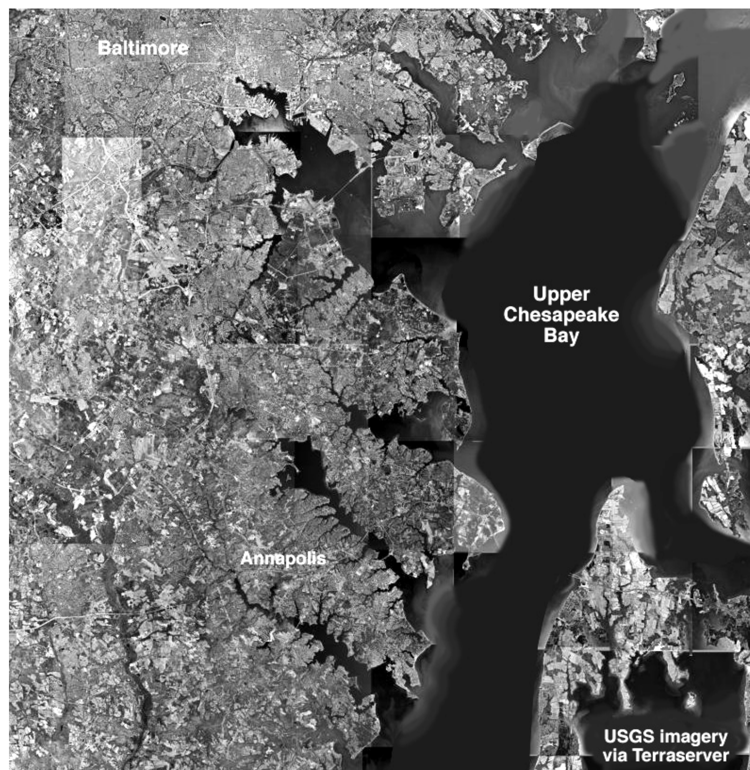


Fig. 40. Mozaic de aerofotograme aeriene al zonei Baltimore- Golful Chesapeake din NE SUA, după USGS. Se observă şi unele limite dintre imaginile asamblate.

8. Proprietățile geometrice

Imaginile de teledetecție, indiferent de tipul lor, constituie reprezentări în plan ale unor părți din suprafața curbată a Pământului. Indiferent de aria acoperită, aceste imagini prezintă o anumita proiecție care poate fi sau nu definită geometric, prin intermediul punctului de perspectivă, razelor de proiecție, planului de proiecție etc. Este evident faptul că imaginile prezintă o serie de deformări ce se impun a fi cunoscute, controlate şi corectate în măsura posibilităților. Realizarea de hărți şi planuri după astfel de imagini implică o bună cunoaştere a proprietăților geometrice ale acestora.

Există două cazuri aparte ce definesc specificul geometriei imaginilor.

Fotogramele aeriene se obțin pe film, sau mai recent prim mijloace digitale, cu ajutorul camerelor speciale. Sunt caracterizate prin proiecția centrală. În cazul acesteia, atomii şi moleculele ce compun obiectele din spațiul fotografiat reflectă raze de lumină solară ce trec sau se proiectează prin focar, pe suprafața filmului (fig. 19). *Focarul* este *punctul de perspectivă* al proiecției, razele de proiecție sunt totalitatea razelor de lumină reflectate de către obiecte, iar planul de proiectie este filmul din camera de fotografiere, întins pe placa de presiune vidată (perfect plan). *Proiecția centrală*, la fel ca orice proiecție cartografic, prezintă deformări la nivelul imaginii obiectelor.

Acestea sunt *efectul topografic* (definit la începutul capitolului, determină ca scara obiectelor din imagine să fie diferită în funcție de poziția lor în altitudine) şi *deplasarea radială*.

Deplasarea radială este o deformare specifică proiecției centrale care determină apariția în imagine a obiectelor, altfel decât imaginea proiecțiilor în plan (fig. 41). Obiectele cu o anumită înălțime apar printr-o imagine în care se poate identifica de multe ori atât partea inferioară cât şi cea superioara acestora (ex. blocuri, turnuri, stâlpi, copaci etc.).

<u>Relief Displacement</u>

- Objects will tend to lean outward, i.e. be radially displaced.
- The greater the object is from the principal point, the greater the radial displacement.
- Example: cooling towers towards the edge of photo show greater radial displacement.



Fig. 41. Deplasarea radială (engl. relief displacement) determină obiectele înalte să apară aplecate către exterior şi creşte pe măsura distanței de punctul central sau principal al imaginii aeriene. Este cazul celor turnurilor de răcire ale unei centrale nuclearoelectrice din SUA, ce apar prin proiecția lor în partea de jos a imagini (apropiate de punctul central) şi deplasate radial, în partea de sus a imaginii.

În cazul în care obiectul înalt se află în centrul imaginii ce corespunde proiecției punctului de perspectivă sau focarului, acesta va apărea prin imaginea proiecției sale. De exemplu, un copac va fi vizibil numai prin intermediul coroanei. Deplasarea radială devine din ce în ce mai mare pe măsură ce obiectul este mai înalt şi mai depărtat de centrul imaginii. Imaginea aceluiaşi obiect este mai alungită către marginea fotogramei şi mai scurtă catre centrul acesteia (fig. 42). Eliminarea sau mai exact diminuarea acestor deformări din imagini, prin crearea sau generarea unor imagini noi este posibilă, prin operațiunea de ortorectificare sau ortocorecției.

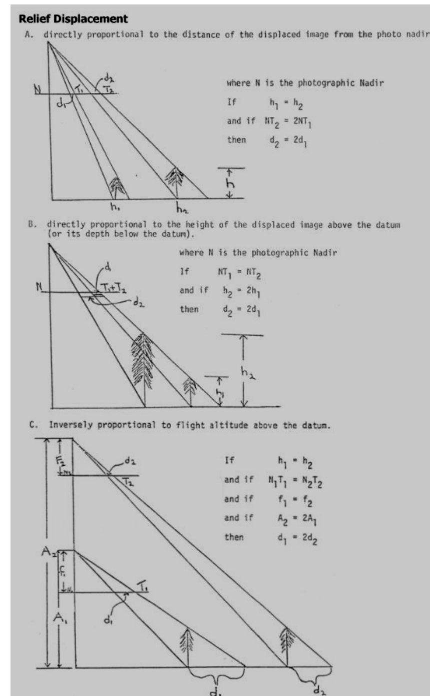


Fig. 42. Deplasarea radială în cazul unui copaci proiectați în imagine, situați la diferte distanțe de punctul central.

Ortorectificarea este procesul prin care este posibilă înlocuirea proiecței centrale cu o proiecție ortografică, utilă în vederea realizării de planuri şi hărți cu ajutorul imaginilor aeriene şi satelitare (se aplică cu deosebire imaginilor la rezoluții mari, unde efectul este vizibil şi induce erori în interpretare şi extragerea de informații în SIG). Ortorectificarea, numită şi fotoredresare, elimină deformările impuse de proiecția centrală astfel încât :

- imaginea corectată va avea aceeaşi scară, indiferent de poziția altimetrică a obiectelor,
- obiectele cu diferite înălțimi vor apărea în final prin imagini aproape identice cu imaginea proiecției lor în plan; astfel de imagini stau la baza elaborării de planuri şi hărți prin diferite metode de restituție;

Prin ortorectificare pot rezulta fotograme ortocorectate, numite şi *ortofotograme,* respectiv *ortofotoplanuri* sau *ortofotohărți,* ce se aseamănă prin proiecția ortografică, dar se diferențiază prin scară şi acoperire spațială, toponimie, prezența elementelor de altimetrie (curbe de nivel). Ortofotoplanurile din care sunt derivate ortofotohărțile au aplicații importante în construirea aplicațiilor SIG. Ortofotoharta include elemente de toponimie şi rezultă frecvent din combinarea de ortofotograme (fig. 43).

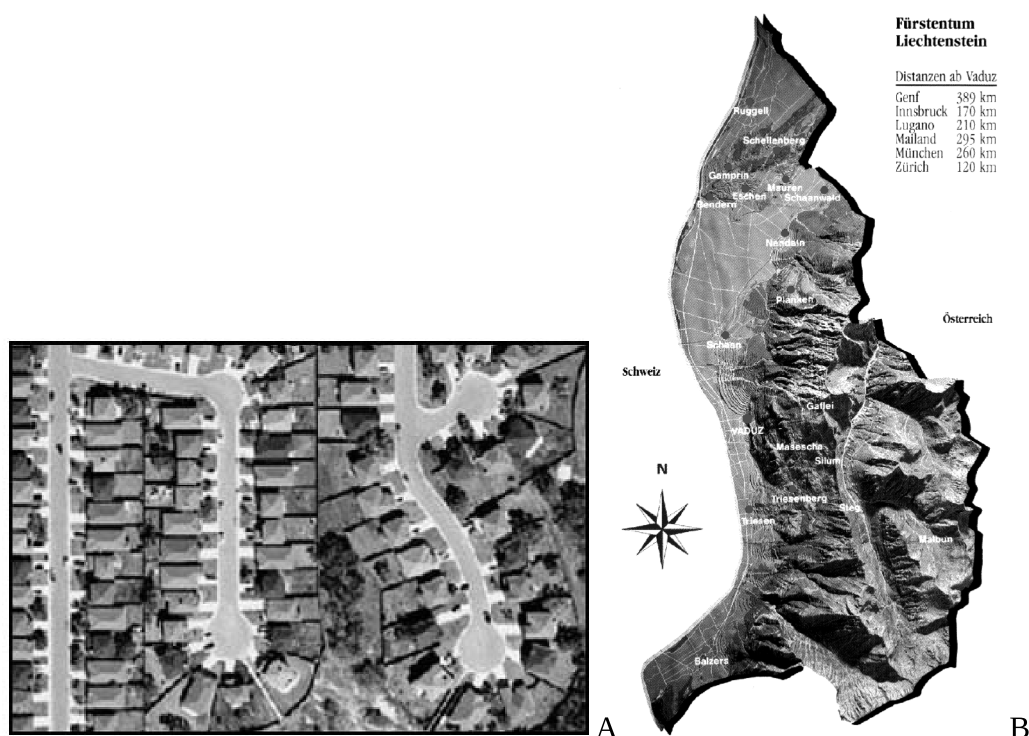


Fig. 43. Porțiune de ortofotogramă prezentând un cartier de locuințe familiale, în care obiectele apar în imaginea proiecției lor (A) şi ortofotohartă cu destinație turistică a Principatului Liechtenstein, micşorată, în care a fost introdusă toponimia şi curbe de nivel (B).

Imaginile satelitare şi în special cele de rezoluții medii şi mici prezintă de multe ori proiecții greu de definit din punct de vedere geometric, atunci cţnd acestea nu sunt specificate. Inițial, imaginile de acest tip, ca de pildă imaginile Landsat, au o proiecție arbitrară, necunoscută, fapt ce necesită, de cele mai multe ori, înlocuirea acesteia cu o proiecție cunoscută, raportată la un elipsoid (datum).

Georeferențierea sau geocorecția reprezintă procesul prin care, cu ajutorul mijloacelor digitale se atribuie unei imagini de teledetecție o proiecție cunoscută, cu un anumit elipsoid. Imaginea brută este o imagine definită doar prin valori spectrale ale pixelilor şi o proiectie arbitrara. Prin georeferențiere, imaginea este transformată geometric datorita deplasarii pixelilor pe noi pozitii definite de coordonate reale, fie geografice, fie rectangulare (fig.44).

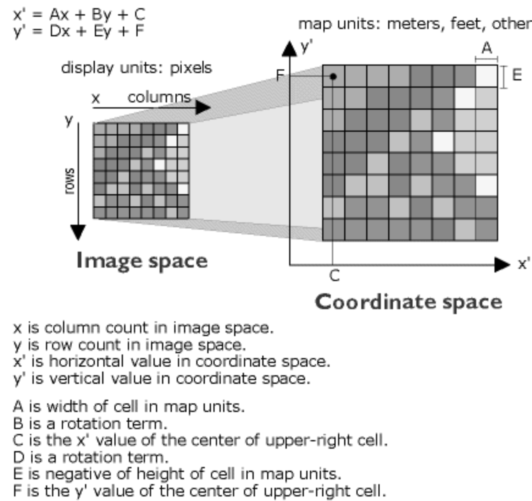


Fig. 44. Transformarea geometriei unei imagini de teledetecție prin georeferențiere. Imaginea inițială, cea din stânga desemnează un spațiu al pixelilor cu o proiecție arbitrară. Imaginea modificată are o nouă geometrie, deoarece pixelii au fost repoziționați într-un spațiu definit de coordonate reale şi unități de măsură.

Georeferențierea este în fapt o transformare matematică ce implică alocarea unor noi poziții, reale, pixelilor din imagine. Determinare noilor coordonate implică ecuațiile lineare din fig. 43, în cadrul cărora vechile coordonate ale pixelilor sunt înmulțite cu o serie de constante, generate automat în contextul generării statisticilor de pixeli. Imaginea georeferențiată poziționează pixelii prin *realocare* sau *resampling*, după punctele de control în teren prin generarea unei noi matrici definită de proiecție şi datum sau elipsoid (vezi Mihai, B.A., 2007). Prin georeferențiere se crează posibilitatea dezvoltării de aplicații pe imagini în mediul SIG, prin construirea de baze de date, de hărți satelitare, de analize spațiale cu rezultate cartografice tematice etc. Este pasul descisiv de la imagine la harta digitală bazată pe imagine ca sursă de informații geografice. Prin georeferențiere, imaginile îşi modifică geometria, având o altă formă, iar pixelii noii imagini sunt repoziționați dar şi deformați după sistemul de proiecție, deoarece ei sunt atribuiți unor noi poziții (fig. 45).

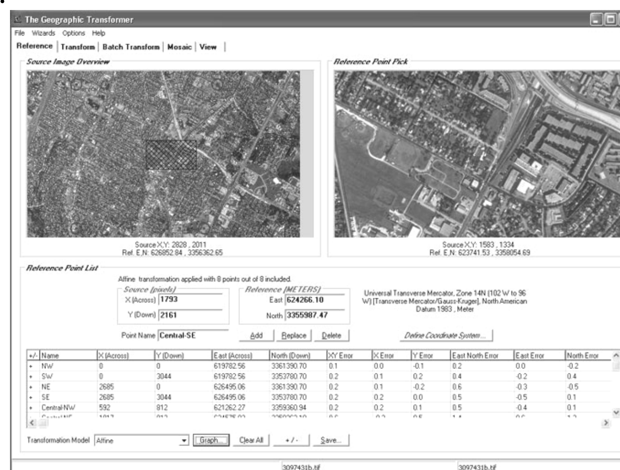


Fig. 45. Interfața unei aplicații de georeferențiere a unei imagini de teledetecție.

9. Cheia de descifrare, legenda şi informații auxiliare

Imaginile de teledetecție sunt reprezentări obiective ale realității terenului, localizate în timp şi spațiu, dar şi în raport cu spectrul radiațiilor electromagnetice (vezi rezoluția imaginilor). Caracterul obiectiv este principala deosebire în raport cu hărțile şi planurile, care au la bază, frecvent aceste surse informaționale.

Cheia de descifrare (Sabins, 1997) este o caracteristică legată de fapt de caracteristicile prin care obiectele apar în conținutul imaginii şi care au valoarea unor criterii de interpretare ce permit identificarea, localizarea, descrierea şi analiza obiectelor. Aceste elemente sunt fie directe (intim legate de imaginea obiectelor), fie indirecte (legate de asocierea imaginilor obiectelor, în diferite formule). Aceste elemente (forma, structura, textura, culoarea etc.) vor fi subiectul capitolului următor.

Imaginile satelitare şi mai ales imaginile multispectrale cele din prima generație (ERTS A, B sau Landsat MSS) erau însoțite adesea de scara tonurilor sau nuanțelor de culoare, în funcție de caz, asemeni celor din figura 31. Acestea permiteau şi o interpretare mai lesnicioasă a signaturilor spectrale, mai ales în formatul tipărit, având o calitate mai slabă decât cele actuale. Pe lângă acestea erau incluse în egală măsură, datele suplimentare ale imagini, sub forma unui text pe laterale, respectiv senzorul, satelitul, numerele de identificare, data, ora înregistrării, poziția Soarelui pe boltă în momentul înregistrării (azimut, elevație), coordonate geografice ale unui colț al imaginii, banda spectrală sau canalul, respectiv la imaginea color, combinația de benzi, instituția furnizoare a imaginii etc.

La imaginile mai recente, în format digital pe suportul respectiv, sunt furnizate benzile spectrale ce compun scena satelitară dar şi un fişier cu date despre imagine, numit şi *fişier de metadate* , ce cuprinde informațiile menționate mai sus, dar şi multe date privind senzorul sau rezoluția spațială, absolut necesare în aplicarea de calibrări şi corecții radiometrice. Un asemenea fişier în format text însoțeşte orice imagine digitală de teledetecție (vezi Mihai, B.A., 2007).

În cazul fotogramelor aeriene, în special al celor în format analogic, pe hârtie, fiecare imagine este însoțită de datele de identificare, parametrii imaginii, absolut necesari în realizarea de măsurători, dar mai ales în procesul de ortorectificare, prin care prpoiecția centrală este înlocuită de proiecția ortografică. Aceste elemente pot fi eliminate în funcție de cerere, dar pot însoți sub forma unui fişier suplimentar imaginile în format digital (fig. 46).

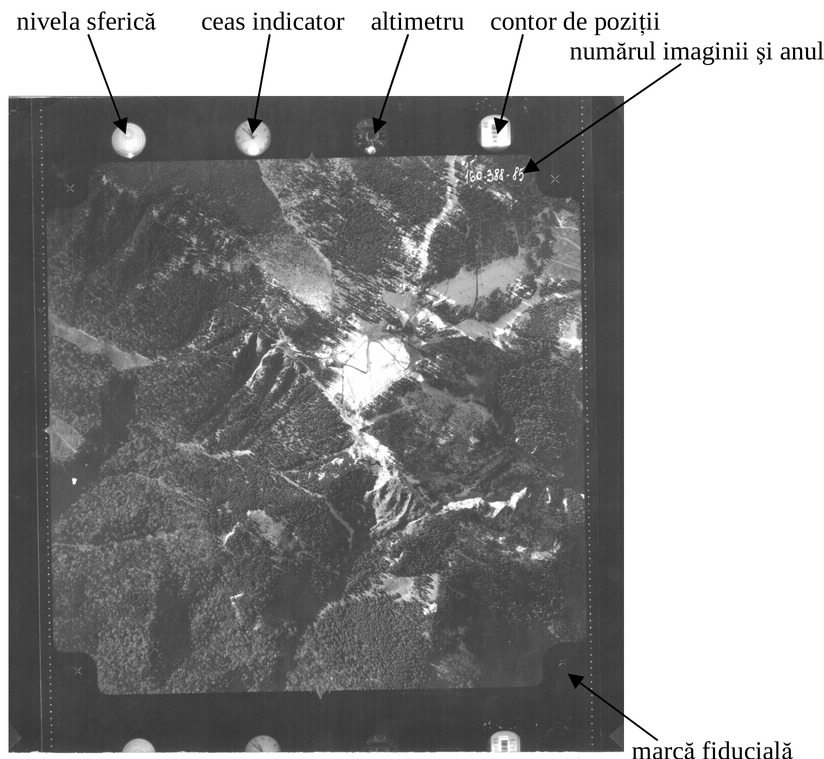


Fig. 46. Elementele auxiliare ale unei fotograme aeriene (fotograma IGFCOT, Cristanul Mare, 1985).

Elementele imaginii din fig. 46 sunt amplasate lateral în raport cu suprafața utilă sau efectivă a imaginii şi sunt fotografiate pe film automat, împreună cu imaginea propri-zisă. *Nivela sferică* indică prin cercuri concentric unghiul dintre axul camerei de fotografiere aeriană şi verticala locului (fiecare cerc arată un grad). În cazul de față fotograma este verticală sau nadirală, nivela arătând circa 1-2°. *Ceasul indicator* arată ora exactă a fotografierii, inclusive în secunde (cel mai favorabil interval este cuprins între orele 11 şi 14, în funcție de iluminarea maximă, dar se poate modifica în alte zone cum ar fi în cele montane ca urmare a condițiilor de vreme). *Altimetrul* indică plafonul de zbor în metri, raportat la nivelul mării, prin calibrarea aparatului. Calcularea scării folosind indicația acestuia este orientativă, datorită efectului topografic specific proiecției centrale. *Contorul de poziții* indică numărul cadrului de pe film de fotografiere aeriană (în cazul de față imaginea are latura de 18 cm, fiind micşorată). *Numărul imaginii* este indicat în colțul din dreapta al acesteia, cu alb, şi se compune din cifra propriu-zisă ce permite identificarea imaginii în mozaicul zborului şi în bandă, respective anul fotografierii (1985, în cazul fig. 46). *Mărcile fiduciale* au aspect diferit (cruciulițe în cazul de față) şi apar în fiecare colț al imaginii sau la mijlocul fiecărei laturi. Prin unirea acestora rezultă punctual central al imaginii, asemeni centrului unui pătrat care semnifică proiecția focarului sistemului optic la imaginile vertical (punctul cu deplasare radial zero în acest caz).

Legenda imaginilor de teledetecție este valabilă doar pentru prelucrarea avansată a acestora sub forma hărților sau ortofotoplanurilor. Imaginile în starea lor inițială nu au legend ci doar elementele auxiliare pe care le-am prezentat anterior. Harta satelitară (fig. 47) este o reprezentare avansată a datelor de teledetecție, folosind de cele mai multe ori subscene satelitare ce au trecut prin etape de procesări complexe, inclusive prin corecții radiometrice (unificarea, normalizarea signaturilor spectrale) şi geometrice (atribuirea unei proiecții cu un sistem de coordonate, corectarea deformărilor).

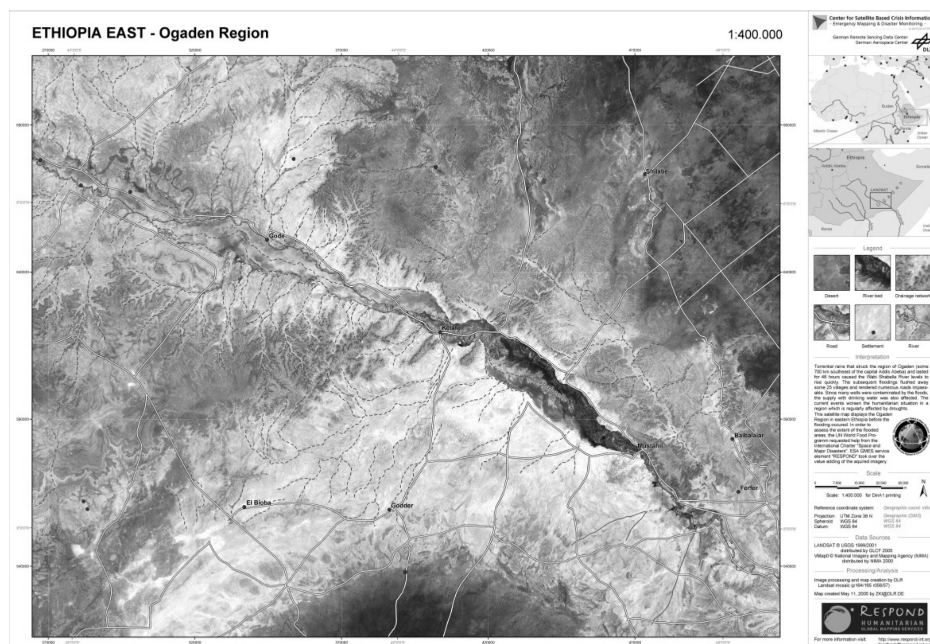


Fig. 47. Hartă satelitară micşorată, în scara de gri, a unei regiuni din Etiopia, elaborată pe baza unei subscene Landsat ETM+, realizată de centrul DLR, Germania, în cadrul unui program internațional.

Din observarea fig. 47, rezultă că structura unei astfel de reprezentări este chiar mai complexă decât a unei simple hărți. Harta cuprinde cadru geografic, frecvent şi un caroiaj, toponimie de bază, titlu, scara exprimată grafic şi numeric, localizare spațială, legenda cu eşantioane din conținutul hărții, date de bază ale imaginii, inclusiv proiecția şi, asemeni exemplului de față, un text succint de interpretare. De asemenea sunt precizate anul şi autorii, respectiv instituțiile implicate. Marele avantaj al acestor reprezentări îl constituie gradul mare de obiectivitate, condiționat evident de rezoluția imaginii. Harta foloseşte şi date cartografice suprapuse, provenite din aplicații SIG, aşa cum sunt apele, drumurile, aşezările, cote altimetrice etc. Acestea apar suprapuse sub forma unor strate tematice.

10. Nivele de prelucrare ale imaginilor

Acestea exprimă complexitatea diferitelor transformări sau modificări aplicate imaginilor în scopul corectarii acestora şi mai ales al imbunătățirii calității lor, al pregătirii acestor seturi de date pentru diverse aplicații.

Fiecare aplicație ce utilizează imagini necesită, de cele mai multe ori, aplicarea unor procesări sau tratamente acestor date reprezentând realitatea terenului. În practică se remarca patru niveluri mari de prelucrare a imaginilor (fig. 48).

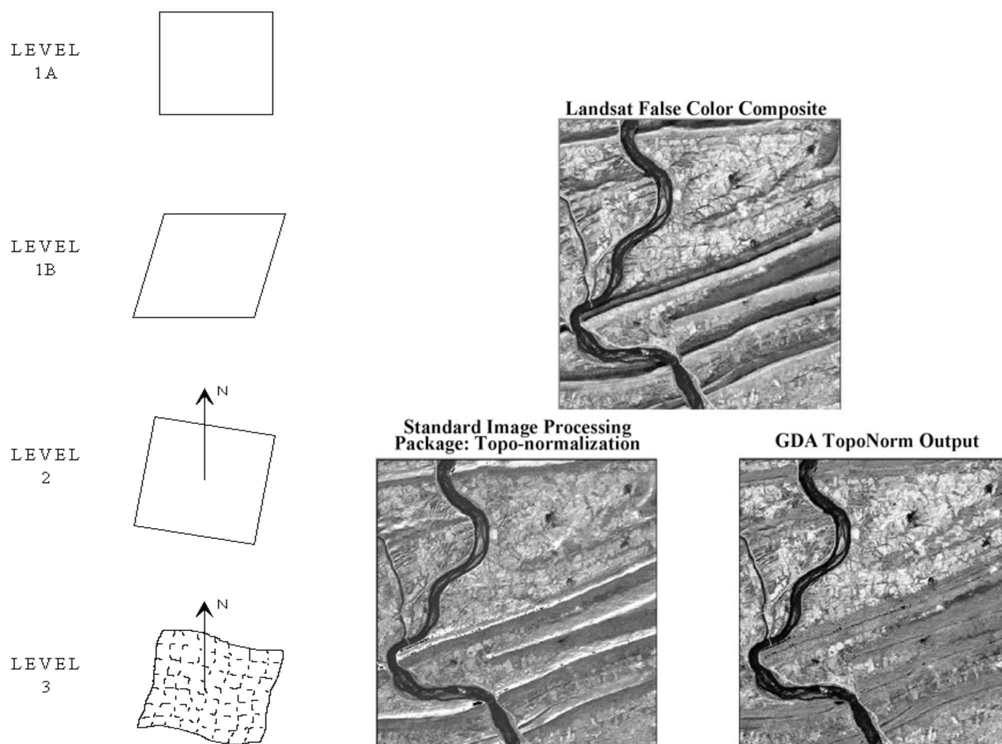


Fig. 48. Nivele de prelucrare a imaginilor (A) şi exemplu de normalizare radiometrică prin eliminarea umbrelor şi de corectare a efectului topografic într-o imagine multispectrală Landsat, în scara de gri.

Nivelul 1A corespunde imaginii brute sau neprelucrate, caracterizată doar prin spațiul definit de pixeli cu o poziții arbitrare. Aceasta este doar o combinație de signaturi spectrale, în cazul imaginilor color multispectrale şi necesită prelucrare.

Nivelul 1 B este imaginea calibrată şi corectată radiometric, prin uniformizarea signaturilor spectrale la nivelul elementelor de acelaşi tip (ex. corecții atmosferice, de contrast; pădurile de fag au aceaşi culoare în acest caz după eliminarea efectului umbrelor în spectrul vizibil).

Nivelul 2, corespunde imaginilor cu un grad mai avansat de prelucrare, corectate geometric şi radiometric, dar şi ortorectificate, pregătite pentru extragerea informațiilor pentru planuri şi hărți (prezintă sistem de coordonate şi orientare).

Nivelul 3 caracterizează imaginile vizualizate tridimensional, prin draparea pixelilor, ce sunt deformați, pe un model numeric al altitudinilor (MNA), asemeni figurii 49.

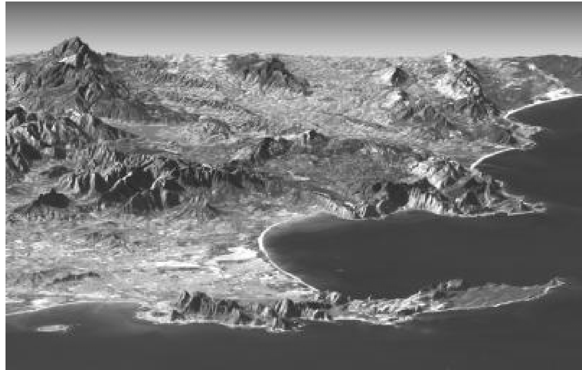


Fig. 49. Imagine Landsat a zonei Cape Town, Africa de Sud, drapată pe un model digital al terenului SRTM.

Întrebări de autoevaluare

- Ce este scara unei imagini şi care este diferența în raport cu cea a hărților ?
- Comparați rezoluția spectrală a unei imagini satelitare cu cea a unei aerofotograme.
- Ce este signatura spectrală şi ce importanță are aceasta în teledetecție ?
- Care sunt deformările impuse de proiecția centrală a imaginilor şi care sunt cauzele acestora.
- Definiți georeferențierea.
- Ce limitări impun contrastul şi strălucirea în analiza imaginilor ?

Tema de control (referat)

Comparați proprietățile imaginilor satelitare multispectrale şi ale aerofotogramelor.

TEMA 6. ELEMENTE DE INTERPRETARE A IMAGINILOR

Conținut

- procedee de interpretare a imaginilor.
- criteriile de interpretare a imaginilor.

Obiective

- cunoaşterea unor modalități calitative de interpretare a imagnilor de teledetecție.
- cunoaşterea modului de aplicare a criteriilor de interpretare a imaginilor de teledetecție.

Interpretarea imaginilor constituie un ansamblu de metode, procedee, criterii ce au ca scop extragerea, pe baza de analiză calitativa şi cantitativă a informațiilor despre obiectele din teren cuprinse in imagine. Interpretare geografică a imaginilor realizează legaturile dintre domeniile teledetecției şi diferitele domenii ale ştiințelor geografice. Orice element al mediului geografic poate constitui obiectul interpretării imaginilor (roci, păduri, relief, aşezări, drumuri etc.). Este o metodă ce s-a perfecționat în special în latura exploatării digitale, cantitative a imaginilor, la nivelul signaturilor spectrale. Se aplică într-un timp mai scurt decât alte metode, permite analiza zonelor greu accesibile dar necesită şi verficare sau validare în teren.

Interpretarea imaginilor prezintă două aspecte:

- *calitativ*, care se bazează pe examinarea vizuală a imaginilor, în vederea extragerii de informații de natură calitativă – descrieri, localizări, diferite schițe sau reprezentări simple; aceasta inseamna doar o abordare descriptiva (fig.50).
- *cantitativ* se referă la utilizarea imaginilor în vederea obținerii de informații cantitative legate de obiectele şi fenomenele din teren; rezultatul interpretării cantitative înseamnă de multe ori hărți şi planuri topografice şi cadastrale şi nu de puține ori hărți tematice; rezultatul poate fi completat cu tabele de date, grafice, diagrame etc. (un astfel de exemplu sunt hărțile rezultate din clasificări de pixeli, asemeni cele din figura 2, din primul capitol, elborate prin algoritmi de geostatistică).

Aplicațiile de analiză cantitativă ale imaginilor s-au perfecționat mai laes în ultimele 2-3 decenii în SUA, Canada, Marea Britanie, pe fondul implementării în structura aplicațiilor software a unor algoritmi matematici ce operează cu pixelii imaginilor şi cu signaturile spectrale (a se consulta lucrarea Mihai, B. A., 2007).



Fig. 50. Exemplu de interpretare calitativă a unei imagini satelitare SPOT 4, Montreal, Canada. Delimitarea pe baza analizei vizuale a imaginii a unor structuri ale spațiului urban în vederea cartografierii lor (după CCRS).

Interpretarea imaginilor utilizează în principal două procedee:

- *procedeul căutarii globale*, reprezinta identificarea unui obiect din imagine după ce aceasta a fost examinată integral vizual (ex.căutarea drumurilor sau așezărilor într-o imagine sau mozaic de imagini).
- *procedeul căutarii selective*, presupune mai multă experiența din partea interpretatorului în examinarea imaginilor, obiectele fiind identificate în funcție de caracteristicile lor şi contextul în care ele apar (ex. un ostrov apare numai într-o albie de râu, o alunecare de teren apare doar pe versanții văilor sau depresiunilor, o gară apare doal pe traseul unei căi ferate etc).

Criterii de interpretare a imaginilor

Reprezintă caracteristici ale imaginii obiectelor pe baza carora acestea pot fi identificate, localizate, descrise şi analizate. În funcție de legătura cu imaginea obiectului există două tipuri de criterii.

- criterii directe
- criterii indirecte

Ambele categorii de criterii se aplică selectiv în funcție de proprietățile obiectului (formă, culoare, umbră, mărime) şi mai ales în funcție de caracteristicile imaginilor (ex. scara şi rezoluția imaginilor, signatura spectrală, geometria imaginii etc.). De exemplu un bloc de locuințe se identifică doar la imagini de mare rezoluție spațială, însă o pădure de fag se poate identifica şi în imagini falscolor, în infraroşu, la rezoluții medii.

Criteriile directe rezultă din caracteristicile individuale ale obiectului; acestea sunt trăsături intim legate de imaginea singulară a obiectului; forma, culoarea,

dimensiunea. Fiecare obiect are aceste trasaturi, fapt pentru care ele sunt cel mai simplu de utilizat.

Forma obiectului este cel mai simplu criteriu direct aplicabil însă în anumite condiții. Forma obiectelor din imagini nu corespunde de cele mai multe ori cu forma acelor obiecte privite în teren. Utilizarea formei presupune de multe ori un efort de imaginație al interpretatorului, rezultat dintr-o anumită experiență. Aplicarea formei poate fi îmbunătățită în condițiile în care imaginea este bine selectată de către interpretator (fig. 51). Criteriul formă se poate aplica în funcție de mărimea obiectului, respectiv în funcție de rezoluția spațială şi scara imaginii (ex. un automobil nu va fi identificat în imagini de medie rezoluție ca urmare a dimensiunilor lui).

În analiza obiectului după formă, de o mare utilitate sunt imaginile în proiectie centrală, respectiv fotogramele aeriene sau imaginile satelitare cu rezoluții mari. Obiectele, mai ales cele înalte, sunt afectate de deplasarea radială ceea ce permite identificarea lor mai uşoara (ex. înălțimea sau numărul de etaje al unui bloc se poate aprecia prin observarea fațadei, atunci când se află către marginea imaginii). Exploatarea stereoscopică a imaginii permite de asemenea, creşterea expresivității formei obiectului în modelul tridimensional. Copacii pot fi identificați în imagini de mare rezoluție după forma coroanei cu ajutorul unor determinatoare.

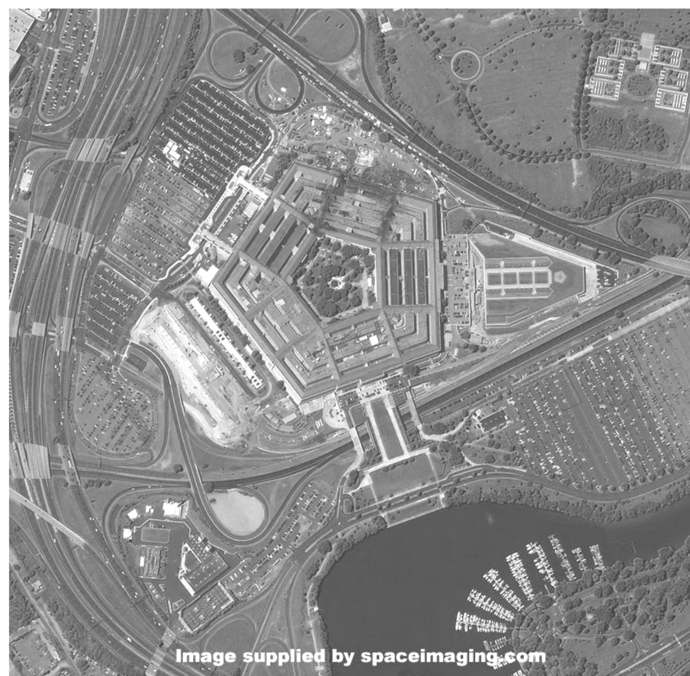


Fig. 51. Imagine satelitară Ikonos pancromatic (rezoluția 1 m) a Pentagonului, ce se identifică prin forma geometrică. Imaginea este utilă şi în identificarea unei rețele de autostrăzi, a traficului rutier, ambarcațiunilor de agrement şi a vegetației parcurilor etc. Sursa Spaceimaging.

Mărimea obiectului poate fi abordată în două modalități. Din punct de vedere calitativ el se aplică prin compararea mărimii obiectului cu dimensiunile unor obiecte similare (ex. primăria unui oraş în raport cu clădirile de locuit). Cantitativ, criteriul direct

este aplicat prin determinarea dimensiunilor obiectelor cu ajutorul unor instrumente optice ca stereoscopul şi stereomicrometrul, respectiv prin utilizarea aplicațiilor de analiză spațială în SIG.

În aplicarea mărimii este importantă cunoaşterea proprietăților geometrice ale imaginilor. De asemenea apare posibilitatea măsurarii înalțimii obiectelor folosind cupluri de fotograme, în proiecție centrală, exploatate stereoscopic (cu ajutorul stereomicrometrului sau al barei de paralaxă).



Fig. 52. Imagine Ikonos pancromatic a oraşului Washington. Clădirile de interes public se pot identifica uşor prin mărimea lor în raport cu clădirile de locuit. De asemenea autostrăzile sunt evidente prin lățimea lor în raport cu bulevardele şi străzile din oraş.

Culoarea sau tonul de culoare , al treilea criteriu direct, se poate aplica cel mai uşor în cazul imaginilor în culori naturale. În acest caz, aplicarea culorii în diferențierea obiectelor presupune cunosterea exactă a datei obținerii imaginii şi a signaturii spectrale ale obiectului, respectiv a rezoluției spațiale a imaginii. Deşi uşor de interpretat, imaginea în culori naturale oferă un conținut informațional destul de limitat. De exemplu, pădurile temperate sunt uşor de delimitat în imaginile de toamnă în culori naturale, deoarece ele oferă o diferențiere mai evidentă la nivel cromatic a tipurilor de copaci.

Imaginile falscolor presupun o mai mare experiență în interpretare, deoarece cromatica lor este total diferită de cea pe care ochiul uman o percepe. În această situație se impune cunoaşterea precisă a rezoluției spectrale a imaginii şi a comportamentului spectral ce genereaza signatura spectrală ataşată obiectului din imagine. Avantajul imaginii falscolor este conținutul informațional mai consistent în comparație cu imaginile în culori naturale. De exemplu, analiza tipurilor de păduri sau de culturi agricole este avantajată considerabil de aceste imagini, unde foioasele apar roşii sau galbene, iar coniferele sunt fie cafeniu închis fie roşu către cafeniu. Exemple de imagini la care se

apllică criteriul cromatic sunt incluse în numeroase lucrări. Limitarea posibilităților de tipărire ne obligă să recomandăm lucrarea lui Mihai, B.A. (2007), capitolul al doilea, unde sunt interpretate combinații multispectrale Landsat ETM+.

Tonul de culoare impune o abordare diferențiată a problematicii de interpretare (fig. 53), în funcție de caracteristicile imaginii (banda spectrală, signatura spectrală a obiectului, momentul obținerii imaginii). Mai mult semnificația tonului diferă la imaginile radar sau lidar, ori la imaginile în infraroşu termal, elemente explicate în ultimele două capitole.



Fig. 53. Imagine aeriană de la mare altitudine a unui deşert pe structură tabulară din Asia Centrală. Tonurile de culoare semnifică aici diferențieri litologice între gresiile de pe platoul structural (în ton deschis), respectiv argilele intens fragmentate de rigole, ogaşe şi ravene, ce apar în ton mai închis (imagine U2, USAF).

Criterii indirecte rezultă din combinarea imaginilor obiectelor, din asocierea acestora. Acestea nu mai depind atât de mult de signatura spectrală cât mai ales de rezoluția spațială şi acoperirea spațială a imaginilor. Criteriile se aplică de asemenea selectiv, mai ales în cazul în care cele directe nu sunt suficiente pentru identificarea corectă a obiectelor.

Poziția obiectului reprezintă localizarea obiectului în spațiu în raport cu alte obiecte de acelaşi tip sau de tipuri diferite. Anumite obiecte sunt strâns legate între ele. De exemplu o gară se află întotdeauna lângă o cale ferată (fig. 54). O alunecare de teren, apare întotdeauna pe un versant, pe un teren în pantă. Din analiza poziției se pot obține informații numeroase despre obiecte (de exemplu, identificarea unor şcoli într-un cartier arată existența unei populații şcolare importante, prezența unui mare număr de automobile într-o parcare, lângă o clădire întinsă, arată importanța comercială a acelei construcții). Prin exploatare stereoscopică se obțin rezultate şi mai concludente, deoarece apare şi dimensiunea verticală a obiectelor.



Fig. 54. Poziția gării centrale la Zürich, Elveția este legată de capătul liniilor de cale ferată, la marginea centrului orașului, pe malurile râului Limmat. Imagine Quick Bird, Pansharpened, micșorată, în scara de gri. Sursa Digital Globe.

Umbra obiectului este o caracteristică a imaginii în spectrul vizibil sau a imaginii falscolor care se suprapune şi unei părți din spectrul vizibil (se adaugă şi imaginile în infraroşul apropiat, respectiv cele pancromatice). Umbra depinde de momentul în care s-a realizat imaginea astfel încât ele apar cu umbre mai lungi în timpul iernii şi mai scurte în timpul verii, dar şi mai scurte la amiază şi mai lungi dimineața sau către apusul Soarelui. În infraroşul mijlociu şi termal, obiectele nu mai prezintă umbră. Umbra depinde şi de înălțimea obiectelor astfel încât ea poate fi utilizată în interpretarea obiectelor înalte cum ar fi copacii sau clădirile (fig. 55). Criteriul se aplică mai uşor la obiectele izolate, mai înalte, care dau imaginea proiectată a formei lor, ca de pildă copacii rari, cei din lungul drumurilor, zgârie norii din oraşe etc. Pe baza umbrei se poate estima ora la care imaginea a fost preluată.



Fig. 55. Umbra unor clădiri înalte în orele după amiezii într-o imagine Ikonos pansharpened în scara de gri, în centrul oraşului San Diego, California, permite aprecierea tipului şi înălțimii construcțiilor dar şi a orei de preluare a imaginii. Sursa Spaceimaging.

Criteriul dispersiei exprimă gradul de împraştiere în spațiu a obiectelor de acelaşi fel. Acesta oferă explicații privind natura unor fenomene. De exemplu dispersia copacilor în poieni sau pe suprafața topografică în ansamblu arată faptul că aceşti sunt un rest dintr-o veche pădure. Un relief ondulat în care sunt dispersate forme de relief pozitive identice, orientate în aceaşi direcție, separate de lacuri, exprimă un relief rezultat din acțiunea anterioară a ghețarilor de calotă (fig. 56).

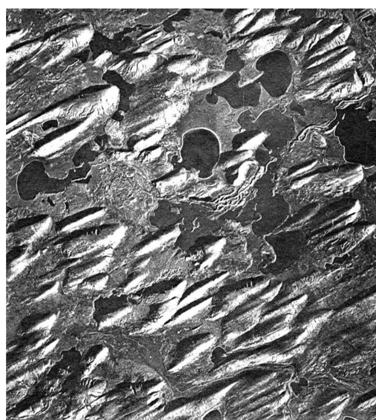


Fig. 56. Drumlinuri în nordul Canadei, dispersate într-o câmpie, pe locul ghețailor de calotă.

Densitatea exprimă gradul de concentrare al obiectelor de acelaşi tip pe unitatea de suprafață. O mare densitate de clădiri de locuit cu mai multe etaje într-un oraş sau cartier exprimă o mare densitate a populației. Densitatea mare a vehiculelor pe o şosea sau autostradă (fig. 57 A) în raport cu cea mică de pe o şosea arată cel mai important flux de trafic, ca orientare, structura pe tipuri de vehicule şi chiar localizarea temporală. Pădurile cu cei mai deşi arbori sunt cele primare, în timp ce plantațiile sunt caracterizate prin arbori egal distanțați (fig. 57 B).

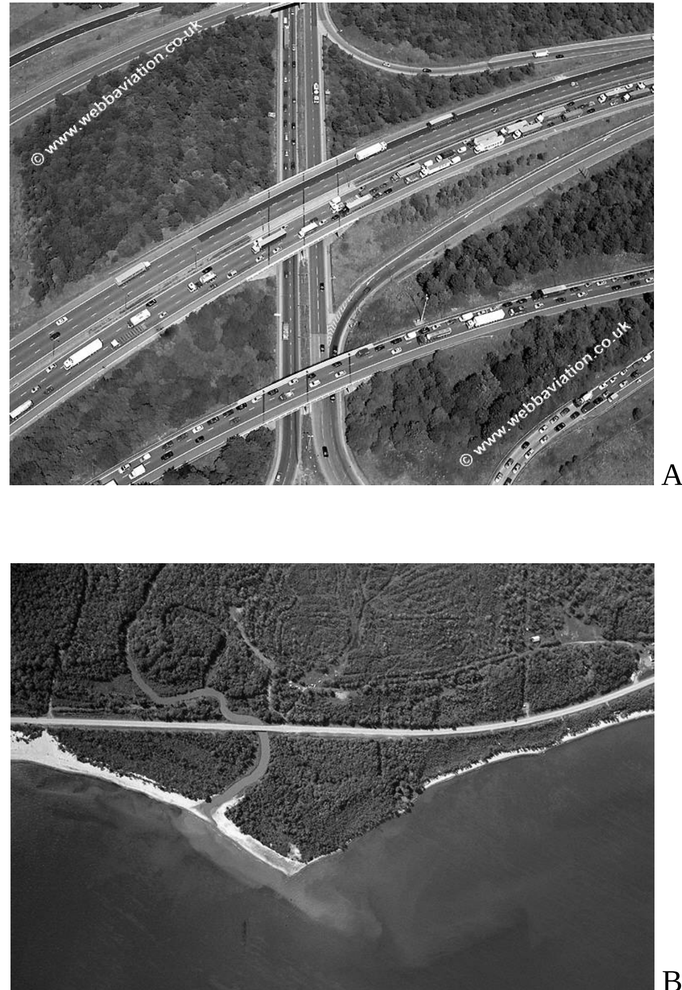


Fig. 57. Aplicarea criteriului densitate în cazul traficului rutier într-un nod de austostrăzi din Marea Britanie, în vederea determinării fluxurilor de trafic rutier (A) şi într-o pădure din California unde apar areale de diferite densități ale copacilor (B).

Structura desemnează modul de organizare în spațiu al imaginilor obiectelor. Criteriul este aplicabil tuturor componentelor de mediu, naturale sau antropice, indiferent de mărimea lor. O imagine nocturnă a Europei (fig. 58) poate arăta structura rețelei de aşezări prin intermediul modului de combinare spațială a punctelor cu diferite grade de strălucire. Se identifică imediat ariile marilor grupări urbane prin gruparea punctelor cu

cea mai mare luminozitate. În egală măsură, criteriul este aplicat şi în interpretarea reliefului condiționat de structura geologică, deoarece acesta impune la rândul lui un anumit mod de asociere al văilor şi interfluviilor, la care se adaptează şi celelalte componente ale mediului.



Fig. 58. Imagine DMSP/OLS a Europei pe timp de noapte în care se poate analiza structura spațiului geografic european la nivel de mari concentrări de populației şi aşezări (se observă zonele Londra, Paris, Olanda şi Valea Rhinului, țărmurile etc.).

Textura rezultă din combinarea signaturilor spectrale la nivelul imaginii unui obiect neomogen ce apare în imagini. Este aplicabilă în primul rând în interpretarea obiectelor ce acoperă suprafețe mai extinse (roci ce par la zi, vegetație, culturi agricole etc.) dar şi celor punctuale (coaroane de copaci, acoperişuri de case).

În cadrul imaginilor în format analogic, pe hârtie, textura este gradul de omogenitate al punctelor ce compun imaginea unui obiect. În cazul imaginilor digitale, alcătuite din pixeli, textura reprezintă gradul de omogenitate al pixelilor ce alcatuiesc imaginea obiectului.

Textura poate fi clasificată după omogenitatea punctelor sau pixelilor :

- textura fină, cu mare grad de omogenitate este specifică obiectelor sau mediilor cu o omogenitate mai mare a proprietăților fizice (ex. apa unui lac neafectată de vânt, mâlurile şi argilele din albii, pajiştile necosite, culturile de cereale păioase înainte de recoltare etc.)
- textura medie, cu un grad de eterogenitate mediu, în care încep să se distingă puncte sau pixeli cu tonuri sau nuanțe diferite (ex. lanurile de porumb unde apar rândurile de culturi, fânețele imediat după cosire, pietrişul şi nisipul din albii etc.).
- textura grosieră şi foarte grosieră are cel mai mare grad de eterogenitate, cu puncte sau pixeli mari şi diversificați, relativ uşor de diferențiat (ex. grohotişurile, bolovănişurile din unele albii, livezile, plantațiile viticole unde se pot distinge rândurile etc.).

Pe lângă acestea există şi tipuri texturale intermediare, dar şi scări texturale utile în delimitarea diferitelor obiecte din teren. Analiza texturală se poate face şi automat prin operații de postprocesare a imaginilor digitale. Un element esențial este alegerea adecvată

a imaginilor, în funcție de rezoluția lor. De exemplu analiza texturii pentru delimitarea culturilor agricole se realizează mai ales pe imagini la rezoluții cât mai mari (fig. 59).

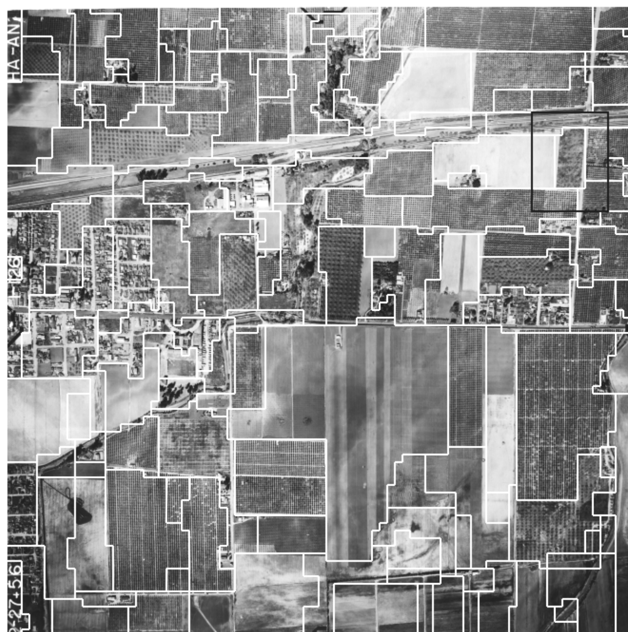


Fig. 59. Delimitarea culturilor agricole din preeria americană cu ajutorul texturilor identificate şi conturate pe o fotogramă aeriană de la mare altitudine.

Criteriile de interpretare se aplică în mod selectiv pe cele mai diverse categorii de imagini. Analistul trebuie să aleagă mai întâi cele mai potrivite imagini şi apoi să treacă la identificarea obiectelor. Există situații când se aplică doar criterii directe dar şi cazuri ce necesită combinarea aproape a tuturor criteriilor prezentate. Specificul aplicației este esențial în aplicarea acestora.

Întrebări de autoevaluare

- Menționați în ce situații se aplică criteriile formă şi poziție.
- Ce limitări impun imaginile de rezoluție medie în aplicarea criteriilor formă şi textură.
- Exemplificați aplicarea criteriilor dispersie şi structură.
- Ce criterii se pot aplica în interpretarea aşezărilor. Explicați.

Tema de control (referat)

Procedee şi criterii de interpretare aplicate în studiul reliefului pe baza imaginilor de teledetecție.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Armaş, I., Damian, R., Şandric, I., Osaci-Costache, G. (2004) Vulnerabilitatea versanților la alunecări de teren în sectorul subcarpatic al Văii Prahova, Ed. Fundației România de Mâine, Bucureşti

Bonn, F., Rochon, G. (coord.) (1992) Précis de télédétection, Vol.1 : Principes et methodes, Presses de l'Université du Québéc

Bonn, F. (coord.) (1996) Précis de télédétection, Vol. 2: Applications thematiques, Presses de l'Université du Québéc

Donisă, I., Grigore, M. Tövissi (1980) Aerofotointerpretare geografică, Ed.Didactică şi Pedagogică, Bucureşti

Mc Feeters, S. K. (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open waters features, International Journal of Remote Sensing, 17, 1425-1432.

Huang, C., B. Wylie, L. Yang, C. Homer, and G. Zylstra. "Derivation of a Tasseled Cap Transformation Based on Landsat 7 At-Satellite Reflectance". USGS EROS Data Center White Paper (http://landcover.usgs.gov/pdf/tasseled.pdf).

Key, Carl H,. Nate C. Benson. 1999. The Normalized Burn ratio, a Landsat TM radiometric index of burn severity incorporating multi-temporal differencing. http://www.nrmsc.usgs.gov/research/ndbr.htm

Latulippe, C., Peiry, J-L. (1996) Essai de hiérachisation des zones de production de matière en suspension dans le bassin-versant d’un grand cours d’Eau: l’Isère en amont de Grenoble, Revue de Géographie Alpine, 84,2, Grenoble, pp.29-44.

Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J. (2004) Remote sensing and image interpretation, J. Wiley and Sons, London

Lucieer, A.(2004) Uncertainties in Segmentation and their Visualisation, ITC Dissertation, nr 113

Mihai, B. (2005) Munții din bazinul Timişului (Carpații Curburii). Potențial geomorfologic şi amenajarea spațiului montan, Ed. Universității Bucureşti

Mihai B., Săvulescu, I., Şandric, I. (2006) Apports de la méthode de détection des changements pour l’évaluation de la dynamique de l’étagement de la végétation dans les monts de Bucegi (Carpates Méridionales, Roumanie), Télédetection, 6, 3.

Mihai, B.A. (2007) Teledetecție. Introducere în procesarea digitală a imaginilor., Ed. Universității din Bucureşti

Sabins, F.F. (1997) Remote sensing. Principles and interpretation, Freeman

Savulescu, I., Sandric, I., Mihai, B. (2005) Dinamica etajelor de vegetație în Masivul Iezer. Analiză Change Detection., Comunicări de Geografie, 9, Bucureşti

Short, N. (coord.) (2006) The Remote Sensing Tutorial, rst.gsfc.nasa.gov, site administrat de NASA.

Sidjak, R.W., Wheate, R.D. (1999) Glacier mapping of the Illecillewaet icefield, British Columbia, Canada, using Landsat TM and digital elevation data, , International Journal of Remote Sensing, 20, 273-284.

Zha, Y., Gao, J.,Ni, S. (2003) Use of normalized difference built-up index in automatically mapping of urban areas from TM imagery, International Journal of Remote Sensing, 24, 583-594.
Zăvoianu, F. (1999) Fotogrammetria, Ed.Tehnică, Bucureşti
Zegheru, N., Albotă, M. (1979) Introducere în teledetecție, Ed. Ştiințifică şi Enciclopedică, Bucureşti
x x x (2001) ENVI tutorials. Research Systems – Kodak

RESURSE INTERNET

Lista de mai jos cuprinde numai adrese de site-uri de importanță didactică, dar utile într-o anumită măsură şi cercetătorilor interesați a se iniția sau documenta în acest domeniu. Ordinea este cea dată de importanța acestor adrese. Adresele reflectă situația din luna februarie 2007 şi se pot modifica în timp.

NASA – Goddard Space Flight Centre.The Remote Sensing Tutorial
http://rst.gsfc.nasa.gov/

Canada Centre for Remote Sensing. Tutorial. Fundamentals of remote sensing.
http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php

GIS development.Remote sensing tutorial.
http://www.gisdevelopment.net/tutorials/tuman008.htm

CRISP Singapore. Remote sensing tutorial.
http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm

The Remote sensing tutorial
http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/index.html

Chesapeake Bay and Mid Atlantic from Space. Remote sensing tutorial. Glossary.
http://chesapeake.towson.edu/glossary.asp

Aerial photography and remote sensing (tutorial)
http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/remote/remote_f.html

Wikipedia. The free encyclopaedia (definiții, linkuri)
http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing

The remote sensing and GIS facility (linkuri)
http://geospatial.amnh.org/remote_sensing/resources/tutorials.html

USGS Remote sensing links
http://terraweb.wr.usgs.gov/resource.html

Remote sensing links
http://www.acadweb.wwu.edu/gis/links/rs.htm

NASA Landsat programme page
http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html

Global Land Cover Facility. University of Maryland (Landsat data source)
http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/

NASA Landsat page
http://landsat.gsfc.nasa.gov/education/tutorials.html

Landsat user's handbook (manualul Landsat)
http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html

Landsat USGS page
http://landsat.usgs.gov/

Center for Earth Resources Observations and Science
http://glovis.usgs.gov/